Beiträge

zur

Kenntniss der Aleuronkörner

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

Hohen philosophischen Facultät

der

Königlichen Friedrich-Alexander Universität

zu

Erlangen

vorgelegt

von

Franz Lüdtke

aus Conitz.

Mit drei Tafeln.

Berlin.

Druck von G. Bernstein.

1889.

(Separat-Abdruck aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik.
Band XXI, Heft 1.)

Geschichtliches.

Die Entdeckung der Aleuronkörner verdanken wir Th. Hartig. Derselbe fand sie in ölreichen Samen (Lupinus, Bertholletia u. a.) und beschrieb sie unter dem Namen „Klebermehl“ zunächst in einer vorläufigen Mittheilung [1]). Seine weiteren Aufzeichnungen, welche eine ausführliche Schilderung seiner Untersuchungen enthalten, finden wir in mehreren Nummern der „Bot. Ztg.“ des Jahres 1856 und 1858 [2]). Der genannte Forscher weist in seinen Veröffentlichungen auf die grosse Verbreitung dieser bis dahin unbekannten Körper hin und hebt als ihre charakteristische Eigenschaft ihre leichte Zerstörbarkeit durch Wasser hervor, worin zugleich die Ursache zu suchen ist, dass sie früher den Blicken der Mikroskopiker entgangen sind. Er empfiehlt daher, die Aleuronkörner in Oel oder concentrirtem Glycerin zu betrachten. Seine Untersuchungen über die Natur der Einschlüsse, über die chemische Beschaffenheit der „Hüllmasse“, über Bildung und Lösung der Aleuronkörner sind für die damalige Beantwortung der Frage von ausserordentlicher Reichhaltigkeit, aber nicht hinreichend, den wahren Zusammenhang dieser Verhältnisse aufzuklären. Er verkannte vor Allem die Natur der Membranen, auch machte er zwischen Krystallen und Krystalloiden, welche wie alle übrigen Einschlüsse aus dem Zellkern hervorgehen und bei der Auflösung wieder in einen solchen verwandelt werden sollten, keinen Unterschied. Späteren Forschern war es vorbehalten, unsere Kenntniss der Aleuronkörner zu erweitern, so dass namentlich über ihre morphologischen Verhältnisse keine Zweifel mehr vorhanden waren. Die von Hartig eingeführte, auf irrthümlichen Anschauungen beruhende termino-

1) Th. Hartig, Ueber das Klebermehl, Bot. Ztg. 1855, p. 881.

2) Weitere Mittheilungen, das Klebermehl betreffend, Bot. Ztg. 1856, p. 257 u. ff.; Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims, Bot. Ztg. 1858, p. 108 u. ff.

logische Bezeichnung der Einschlüsse musste vor allen Dingen aufgegeben werden. Durch Nägeli's Untersuchungen über die Krystalloide[1]) wurde zunächst die Natur der Einschlüsse dieser Kategorie als krystallähnliche Proteïnstoffe endgültig bewiesen, und die von diesem Forscher eingeführte Bezeichnung „Krystalloid" ist seit dieser Zeit beibehalten worden. — Das durch Hartig erschlossene Gebiet dieser Reservestoffe, ihre grosse Verbreitung und ihre oft zierlichen Formen erregten allgemeine Aufmerksamkeit, namentlich waren es v. Holle[2]) und O. Maschke[3]), welche sich alsbald mit dem Studium der Aleuronkörner beschäftigten. Ersterer constatirte ihr Vorkommen in den Samen von über hundert verschiedenen Pflanzenfamilien, adoptirte aber im Ganzen die Ansichten Hartig's, während O. Maschke sein Augenmerk darauf richtete, die Aleuronkörner zu isoliren. Als Ausgangsmaterial wählte er die an „Klebermehl" reichen Samen von Bertholletia excelsa, welche er nach dem Zerreiben und Entfetten einem wiederholten Schlemmprocess mit Olivenöl unterwarf. Das anhaftende Oel entfernte er durch Auswaschen mit Aether und erhielt so eine Ausbeute von 5,5 Procent. Er behandelte die „Kleberkörnchen" mit verschiedenenen Reagentien, um einerseits die Membran sichtbar zu machen, andererseits aber auch die chemische Beschaffenheit „der Klebermasse" aufzuklären. Er kam zu dem Schluss, dass die Hüllhaut Korksubstanz und keine Cellulose sei, die Krystalloide aber aus Caseïn mit einer unbekannten Säure und die Globoide aus Bassorin und einer proteïnartigen Substanz zusammengesetzt seien.

Von weiteren Arbeiten ist zunächst diejenige von Trécul[4]) hervorzuheben, welcher Autor durch seine Untersuchungen zu dem Resultat gelangt, dass die „Proteïnkörner" ganz oder theilweise aus Fett bestehen könnten, eine Ansicht, in der ihm Sachs[5]) bei-

1) Nägeli, Ueber die aus Proteïnsubstanzen bestehenden Krystalloide in der Paranuss. Sitzungsberichte der Münchener Akademie 1862, Bd. II, p. 120.

2) v. Holle, Neues Jahrbuch für Pharmacie von Walz und Winkler 1858 und 1859, Bd. X, XI u. XII.

3) O. Maschke, Ueber den Bau und die Bestandtheile der Kleberbläschen in Bertholletia excelsa, deren Entwickelung in Ricinus nebst einigen Bemerkungen über Amylonbläschen. Bot. Ztg. 1859, p. 409 ff.

4) Trécul, Des formations vésiculaires etc., Annales des scienc. nat. 1858 IV sér., t. X, pl. 20—127—205 etc.

5) Sachs, Keimung der Dattel, Bot. Ztg. 1862, p. 242. — Keimung von Allium Cepa, Bot. Ztg. 1863, p. 56 und Lehrbuch, II. Auflage, p. 52.

pflichtete. Seine Erklärung über die Entstehung der Krystalloide, sowie seine Beobachtung wasserlöslicher Globoide beruhen auf irrthümlichen Anschauungen. Ausführliche Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte und Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen verdanken wir Gris[1]). Dieser Forscher gelangt zu dem Resultat, dass die Proteïnkörner niemals Umwandlungsproducte von Chlorophyll- oder Stärkekörnern sein können, vielmehr selbstständige Gebilde darstellen.

Während einer Reihe von Jahren finden wir nun in der Litteratur nicht eine einzige Aufzeichnung über die Aleuronkörner, bis endlich W. Pfeffer[2]) diesem Gebiete seine Aufmerksamkeit zuwandte und durch eine ausserordentlich reichhaltige, durch eine Fülle von Material ausgezeichnete Arbeit eine endgültige Klärung der sehr aus einander gehenden Ansichten herbeiführte. Er lieferte zunächst den Beweis, dass das Fett der Samen ausschliesslich der Grundmasse der Zelle angehört, niemals aber in den Aleuronkörnern enthalten ist. Er findet ferner, dass die Hauptmasse dieser Gebilde aus Proteïnstoffen besteht, und dass deshalb die von v. Holle eingeführte Bezeichnung Proteïnkörner die zutreffendste ist. Wir verdanken dem genannten Forscher fernerhin die Aufklärung über die chemische Zusammensetzung der Einschlüsse. Er hat zuerst bewiesen, dass die Krystalle[3]) aus oxalsaurem Kalk, die Globoide aber aus einem Kalk- und Magnesiumdoppelsalze einer (mit einem organischen Körper [Zucker?]) gepaarten Phosphorsäure nebst Spuren von Proteïn bestehen[4]). Es ist dies das erste Beispiel einer grösseren, exact durchgeführten qualitativen mikrochemischen Analyse. — Auch die Entwickelungsgeschichte und die Rückbildung der Aleuronkörner ist von ihm an mehreren Samen eingehend studirt und dadurch die Ansichten von Gris und Trécul, nach welchen Autoren die Einschlüsse in besonderen „Vacuolen“ gebildet werden sollten, widerlegt

1) Gris, Recherches sur la germination, Annal. d. scienc. nat. 1864, V sér., t. II, pl. 1.

2) W. Pfeffer, Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. Pringsheim's Jahrbücher für wiss. Botanik, Bd. VIII, 1872, p. 429 ff.

3) Die Natur der Krystalloide wurde bereits von Nägeli aufgeklärt; vergl. p. 4.

4) Neuerdings neigt jedoch Pfeffer in seiner Pflanzenphysiologie p. 339 der Ansicht hin, dass in den Globoiden wie in den Krystalloiden ein Magnesiavitellat enthalten sei.

worden. Pfeffer hat gezeigt, dass sämmtliche Einschlüsse frei im Zellinhalt gebildet werden, und dass jene Vacuolen einem Druck auf das Deckglas ihre Entstehung verdanken.

Die Auflösung der Proteïnkörner glaubt Pfeffer auf das Vorhandensein von saurem Kaliphosphat zurückführen zu müssen. Auch die Fixirung der leicht in Wasser löslichen Aleuronkörner, welche durch eine zwölfstündige Maceration der Samenschnitte in 2procentigem Sublimatalkohol bewirkt wird, ist von diesem Forscher zuerst angewandt worden.

Nach dem Erscheinen der Pfeffer'schen Arbeit sind nur noch speciellere Gebiete näher untersucht worden. So hat sich M. G. Raffinesque [1]) mit der Membran der Aleuronkörner von Ricinus und Aleurites beschäftigt. Das ganze Korn fand er überzogen von einer Hüllhaut, welche 50—80 netzförmige Vertiefungen zeigte.

Tangl [2]) macht gelegentlich seiner Untersuchungen über das Protoplasma der Erbse die Entdeckung, dass die Aleuronkörner dieser Pflanze Träger eines Farbstoffes sind und in Beziehung stehen zu den peripherischen Hautschichten und Hautschichtsäcken der Zellen. Die Art und Weise der Quellung und der Rückbildung, die er bei diesen Aleuronkörnern beobachtete, kann natürlich nur für diesen speciellen Samen von Bedeutung sein. Im Allgemeinen stellt er die Behauptung auf, dass die Aleuronkörner nicht durch die Gegenwart von Kaliphosphat (Pfeffer), sondern erst nach erfolgter Desorganisation der Auflösung zugeführt werden.

Godefrin [3]) hat seine Untersuchungen über eine grosse Anzahl von Samen ausgedehnt und die Beziehungen zwischen Aleuron, Amylum, Fett und Endosperm in eine tabellarische Uebersicht gebracht.

Bezüglich der Entwickelung der Aleuronkörner bemerkt er, dass dieselbe entweder in der ganzen Masse des Kornes vor sich geht, oder dass zuerst Stäbchen entstehen. Bei der ersten Form erscheint das Korn homogen im Zellinhalt und nimmt erst bei der Reife bestimmte Gestalt an, während bei der anderen sich an der Zellwand gebogene Stäbchen bilden, welche sich zu einem Ring zusammen-

1) M. G. Raffinesque, De l'enveloppe des grains d'Aleurone, Bull. de la soc. Linnéenne de Paris 1874.

2) E. Tangl, Das Protoplasma der Erbse, Sitzungsberichte der Wiener Akademie LXXVI Dec., 2 Abhandlungen.

3) Godefrin, Anatomie comparée des cotyledons et de l'albumen. Annal. des scienc. nat., 6 sér., t. XIX.

legen. Die Einschlüsse bilden sich stets zuerst, und um diese legt sich die Hüllmasse mit oder ohne vorherige Ringbildung.

Bei der Auflösung geht zunächst die Hüllmasse in Lösung, und die Einschlüsse werden in Freiheit gesetzt. Bei den einschlussfreien bilden sich kleine Vacuolen, welche zu einer grossen zusammenfliessen. Auf diese Weise entsteht ein Ring, der bald in Fragmente zerfällt, oder die Vacuolen werden von aussen durch locale Lösung bis auf einen mondsichelförmigen Rest reducirt, der sich schliesslich allmählich löst.

Proteïnkrystalloide finden sich ausser als Einschlüsse der Aleuronkörner auch noch freiliegend in anderen Pflanzentheilen. Van Tieghem [1]) beschreibt Krystalloide, welche sich bei der Entwickelung der Fructification der Mucorineen im Protoplasma bilden, in den Sporangien und Oosporangien aber nicht vorkommen.

J. Klein [2]) hat sie in zahlreichen Meeresalgen aufgefunden, Radlkofer [3]) in den Zellkernen verschiedener Gewebetheile der Lathraea squamaria, und Cohn [4]) fand sie in dem Protoplasma der unter der Korkschicht liegenden stärkefreien Zellen des Kartoffelknollen. — Eine ausführliche krystallographische Arbeit über die Proteïnkrystalloide hat Schimper [5]) geliefert. — Die chemische Natur der Aleuronkörner ist aufzuklären versucht worden von H. Ritthausen [6]), Schmiedeberg [7]), R. Sachsse [8]) und S. H. Vines [9]). In einer neueren Arbeit giebt H. Ritthausen [10]) eine tabellarische Uebersicht seiner Ergebnisse, welche sowohl mit seinen

---

1) Ph. van Tieghem, Nouvelles recherches sur les Mucorinées. Annal. des scienc. nat., II sér., t. I, pl. 5.

2) J. Klein, Beiträge zur Kenntniss der Krystalloide der Meeresalgen, Anzeigen der Ung. Akad. d. Wissenschaften 1879, XIII, No. 4, p. 85.

3) Radlkofer, Ueber Krystalle proteïnartiger Körper, Leipzig 1859.

4) Cohn, 37. Jahresbericht d. Ges. für Schlesische Cultur, 1859, p. 72.

5) A. F. W. Schimper, Untersuchungen über die Proteïnkrystalloide, Inaugural-Dissertation, Strassburg 1878.

6) H. Ritthausen, Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie, Bd. 16, p. 207.

7) Schmiedeberg, Zeitschrift f. physiologische Chemie, Bd. I, p. 205.

8) R. Sachsse, Ueber die Proteïnkrystalloide der Bertholletia excelsa, Sitzungsbericht der naturforsch. Gesellschaft, Leipzig, III, p. 23.

9) S. H. Vines, On the chemical composition of Aleuron grains. Proceedings of the Royal Society 1880, p. 387.

10) H. Ritthausen, Ueber die Eiweisskörper verschiedener Oelsamen, Journal für pract. Chemie. Neue Folge, Bd. 24, p. 257.

früheren als auch mit denen anderer Forscher gut übereinstimmen. Hiernach enthalten die Aleuronkörner sehr fettreicher Samen (Bertholletia, Arachis, Aleurites, Helianthus und Ricinus) durchschnittlich

12,24 Theile Asche,
16,03 „ Stickstoff,
66,97 „ Proteïn

in hundert Theilen.

Schmiedeberg und Drechsel[1]) haben eine Magnesiumverbindung der Krystalloide dargestellt; jedoch ist man über die wahre Natur dieser in kleinen glänzenden Krystallen sich abscheidenden Verbindung noch nicht völlig aufgeklärt.

Eine ausführliche, übersichtliche Darstellung des über die Aleuronkörner Bekannten verdanken wir A. Tschirch.

In seiner Angewandten Pflanzenanatomie[2]) begegnen wir zum ersten Male einer klaren Definition der einzelnen Einschlüsse und der übrigen morphologischen Begriffe. Durch zahlreiche Forschungen hat der genannte Verfasser das Gebiet nicht nur erweitert, sondern auch auf die bisher unberücksichtigt gebliebene diagnostische Bedeutung der Aleuronkörner hingewiesen.

Neuerdings hat J. H. Wakkers[3]) die Entwickelungsgeschichte der Aleuronkörner studirt und die bereits von Gris[4]) gemachte Beobachtung, dass die Bildung der Aleuronkörner bezw. der Einschlüsse in besonderen, mit Eiweiss erfüllten Vacuolen vor sich gehen soll, von Neuem beschrieben.

F. Werminski[5]), welcher sich mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt hat, kommt zu denselben Ergebnissen und versucht ausserdem den Beweis zu führen, dass die Bildung der Aleuronkörner lediglich als ein chemisch-physikalischer Process aufzufassen sei.

Im Verlaufe meiner Arbeit werde ich Gelegenheit finden, des Oefteren auf die Resultate dieser beiden Forscher zurückzukommen.

---

1) E. Drechsel, Ueber die Darstellung krystallisirter Eiweissverbindungen, Journal für pract. Chemie, Bd. 127, 1879, p. 331.

2) A. Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie, Wien und Leipzig, 1889, Bd. I, p. 41 u. ff.

3) Referat im Bot. Centralblatt, Bd. 33, No. 12, p. 361.

4) Gris, Recherches sur la germination, Annal. des scienc. nat., 1864, V sér., t. II, pl. 1.

5) F. Werminski, Ueber die Natur der Aleuronkörner, Berichte der deutsch. bot. Gesellschaft, Bd. VI, 1888, p. 199.

Dieser historische Ueberblick der bisher über die Aleuronkörner bekannten Thatsachen zeigt, dass man wohl eine umfangreiche Kenntniss der in Betracht kommenden Verhältnisse besitzt, in vielen Beziehungen aber noch nicht zu befriedigenden Resultaten gelangt ist. In der verhältnissmässig schwierigen Präparation findet dieser Umstand wohl eine genügende Erklärung. Die allgemein befolgte Methode Pfeffer's, die Maceration in Sublimatalkohol, macht zwar die Mehrzahl der Aleuronkörner gegen Wasser resistent, bedingt aber zugleich eine tiefgreifende chemische Veränderung des Kornes und seiner Einschlüsse. Wir bedürfen daher vor Allem einer Präparationsmethode, welche uns die Aleuronkörner in normalem, unversehrtem Zustande studiren lässt.

Wollen wir fernerhin die Aleuronkörner zur Diagnose herbeiziehen, wozu sie sich im Hinblick auf ihre reichen, aber bei jedem Samen constanten Formen ganz besonders eignen, so ist zunächst ihr Verhalten gegen Reagentien, über welches wir in der Litteratur die widersprechendsten Angaben finden, einer genauen Prüfung zu unterziehen, um eine scharfe Charakterisirung der verschiedenen Einschlüsse zu ermöglichen. Erst hierdurch werden wir in den Stand gesetzt, eine vergleichende Betrachtung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner anzustellen, eine Betrachtung, welche an Bedeutung gewinnt, wenn wir eine genaue Messung des Kornes und seiner Einschlüsse hinzufügen. Da bisher nur die Formenverhältnisse der Aleuronkörner einer kleinen Anzahl von Pflanzen, meist solcher mit ölreichen Samen, bekannt sind, so ist es in hohem Grade, zumal für die diagnostische Verwerthung erforderlich, die vergleichende Betrachtung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner auf möglichst viele Pflanzenfamilien auszudehnen.

Gänzlich entbehren wir ferner Angaben über das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser, welche im Hinblick auf ihre leichte Zerstörbarkeit von grosser Wichtigkeit wären und uns namentlich einen Aufschluss über ihren Antheil an der Keimthätigkeit des Samens geben würden.

Am Schlusse der historischen Uebersicht haben wir gesehen, dass die Veröffentlichungen Pfeffer's[1]) über die Entwickelungsgeschichte und die Rückbildung der Aleuronkörner im Widerspruch

1) a. a. O. p. 525.

stehen mit den Ergebnissen der Arbeiten von Wakkers und Werminski, es wäre daher von grossem Interesse, die gegenseitigen Angaben der genannten Forscher zu prüfen, um eine endgültige Klärung dieser Fragen herbeizuführen.

In der vorliegenden Arbeit habe ich auf Vorschlag von Herrn Dr. Tschirch versucht, die angedeuteten Lücken in der Kenntniss der Aleuronkörner auszufüllen und habe folgende Punkte einer näheren Betrachtung unterzogen:

1. Das Verhalten der Aleuronkörner gegen Reagentien.
2. Vergleichende Untersuchung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner nach Pflanzenfamilien.
3. Das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser.
4. Entwickelung der Aleuronkörner beim Reifen der Samen.
5. Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen der Samen.

I.

Das Verhalten der Aleuronkörner gegen Reagentien.

Eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Reactionen lässt sich nur an der Hand morphologischer Beziehungen gewinnen; es sei mir daher gestattet, jedem Abschnitt eine kurze Schilderung dieser Verhältnisse voranzuschicken.

Bekanntlich verstehen wir unter Aleuron die im ruhenden Samen vorkommenden, geformten Eiweisssubstanzen. Die Gestalt dieser auch als Aleuronkörner (Hartig, Tschirch), Proteïnkörner (v. Holle, Pfeffer), Klebermehl (Hartig, Maschke) bezeichneten Gebilde ist eine ausserordentlich variable. Von dem einfachsten, nur 1 Mik. grossen Körnchen, bis zu den complicirt zusammengesetzten, oft 60 Mik. grossen Aleuronkörnern finden wir alle Uebergänge in Form und Grösse. Je nachdem sie noch im Innern besonders geformte Körper führen oder frei von Einschlüssen sind, kann man sie in zwei grosse Gruppen eintheilen: in einschlussfreie oder einfache und in einschlussführende oder zusammengesetzte Aleuronkörner. Trotz der Verschiedenheit der Gestalt zeigen sie jedoch bezüglich ihres chemischen Charakters eine grosse Uebereinstimmung.

stimmung. Namentlich ist es ihr Verhalten gegen Kalilauge, welches uns sofort den erwünschten Aufschluss über ihre Identität verschafft. Durch dieses Reagens wird nämlich ausnahmslos die Gestalt der Aleuronkörner zerstört. Es tritt bei den einfachen vollständige, bei den zusammengesetzten theilweise Lösung ein: eine Reaction, welche stets so scharf charakterisirt ist, dass irgend welche Zweifel nicht entstehen können.

An einem Aleuronkorn vollendetster Ausbildung unterscheiden wir [1]):

1. die Membran,
2. die Grundsubstanz (Hüllsubstanz, Grundmasse [Pfeffer]),
3. die Einschlüsse.

Letztere sind entweder:

a) Proteïnkrystalloide,
b) Globoide oder
c) Kalkoxalatkrystalle.

Es soll hiermit aber durchaus nicht gesagt sein, dass ein Aleuronkorn stets eine Grundsubstanz mit den drei unter einander absolut verschiedenen Einschlüssen enthalten muss — ein solcher Fall gehört vielmehr zu den grössten Seltenheiten, dagegen sind die wesentlichen Bestandtheile: Membran und Grundsubstanz bei jedem Aleuronkorn vorhanden, und wir müssen nun den Begriff Aleuron folgendermaassen definiren: „Unter einem Aleuronkorn verstehen wir einen mit einer Membran versehenen, in verdünnten Alkalien leicht löslichen, geformten Eiweisskörper von meist rundlicher Gestalt, welcher in seiner Grundsubstanz gleich- oder verschiedengestaltete Einschlüsse, theils von dem Charakter der Proteïnsubstanzen, theils von dem andersartiger Körper enthalten kann."

1. Die Membran.

Die äussere Umhüllung der Aleuronkörner besteht aus einer sehr zarten, hyalinen Membran (Taf. II, Fig. 1, a), welche der Grundsubstanz dicht anliegt und gegen das Plasma so wenig differenzirt ist, dass man beim Betrachten der Schnitte in Wasser ihre Existenz kaum wahrzunehmen vermag. Die körnige Beschaffenheit, welche

1) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie. Wien und Leipzig, 1889, p. 45.

Pfeffer [1]) beobachtet hat, wird erst durch Reagentien hervorgebracht. Die in Wasser liegenden Aleuronkörner lassen nur in sehr wenigen Fällen die Membran sofort erkennen, ihre Sichtbarmachung ist mir indessen leicht gelungen durch Einbringen der Schnitte in Wasser von 100 ° C. (Taf. II, Fig. 18 a, b, c) oder in eine 1procentige Osmiumsäurelösung. Sehr gute Dienste leistet auch Kalkwasser, welches die Grundsubstanz des Kornes stets zuerst löst, wodurch die Membran scharf sichtbar, dann aber auch nach vorherigem Aufquellen in Lösung gebracht wird. Natriumphosphat und verdünnte Kalilauge lösen die Membran zu schnell, als dass man ihre Conturen näher beobachten könnte. Nach Pfeffer [1]) soll die Membran in verdünnter Kalilauge erst nach längerer Zeit löslich sein, ich habe indessen gefunden, dass selbst in sehr verdünntem Kali die Lösung der Membran vieler Aleuronkörner (z. B. Umbelliferen, Cruciferen, Leguminosen) sofort eintritt. Die Hüllmembran ist bei den meisten Aleuronkörnern von ausserordentlich zarter Beschaffenheit. Ihre Oberfläche ist sehr selten straff gespannt, sie erscheint meist mit grubigen Vertiefungen versehen (Taf. II, Fig. 7 c und 13 c).

Schon Hartig [2]), M. G. Raffinesque [3]) und auch Pfeffer [4]) beobachteten diese Erscheinung, ohne indessen eine ausreichende Erklärung hierfür zu geben. Diese Oberflächenskulpturirung wird bedingt durch das feste Anschmiegen der Membran an die meist durch Austrocknen contrahirte Grundsubstanz, sowie durch das Hervorragen excentrischer Einschlüsse. Sobald die Grundsubstanz in den Stand gesetzt wird, Wasser aufzunehmen, wie dies durch Einlegen der Schnitte in Wasser und auch in den ersten Keimungsstadien der Fall ist (Taf. II, Fig. 4 und 12), verschwinden die grubigen Vertiefungen, und die Membran bildet nun eine straff gespannte, widerstandsfähige Hülle von vollständig gleichmässiger Beschaffenheit. Alle noch so unregelmässig geformten Aleuronkörner nehmen durch solche Behandlung Kugelgestalt an (Taf. II, Fig. 4 und Fig. 11). Auch den Aleuronkörnern junger, aber reifer Samen fehlen jene grubigen Vertiefungen.

1) a. a. O. p. 449.
2) Hartig, Bot. Ztg. 1858.
3) M. G. Raffinesque, vergl. p. 6.
4) Pfeffer, a. a. O. p. 434.

Eine Membran umschliesst alle Aleuronkörner, und auch in solchen Fällen, wo die Einschlüsse frei im Zellinhalt zu liegen scheinen, wodurch man den Eindruck erhält, als ob durch Zerreissen und Resorption der Membran scheinbar eine Zerstörung der Aleuronkörner vor sich gegangen wäre, ist es mir gelungen, durch vorsichtiges Behandeln der Schnitte mit Kalkwasser die Existenz der Membran nachzuweisen. Auch solche Aleuronkörner, deren Grundsubstanz zu einem structurlosen, dünnen Ueberzug zusammengetrocknet ist, lassen mit Hilfe dieser Methode deutlich eine Membran erkennen. Bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung ist die Membran von dem sie umgebenden Protoplasma durchaus verschieden. Ihre leichte Dehnbarkeit durch Einwirkung des Wassers, ihre relativ leichte Löslichkeit selbst in verdünnten Alkalien charakterisiren sie als ein durchaus selbstständiges Individuum.

2. Die Grundsubstanz.

Die Grundsubstanz (Tschirch), Hüllsubstanz, Hüllmasse (Pfeffer) besitzt eine verschiedene Ausdehnung. In den meisten Fällen besteht das ganze Korn aus ihr, und man müsste dann von einer Grundmasse [1]) sprechen, oder sie macht in Folge des Vorhandenseins von Einschlüssen nur einen grösseren oder kleineren Theil des Aleuronkornes aus, in welchem Falle sie nur die Bezeichnung Füllmasse verdienen würde. Ja sie kann sogar, namentlich bei Aleuronkörnern mit sehr grossen Einschlüssen, auf ein structurloses, nur durch die sorgsamste Präparation sichtbares Häutchen reducirt sein. Einen Einblick in ihre morphologische und chemische Beschaffenheit können wir nur dort gewinnen, wo sie in besonderer Grösse vorhanden ist. Sie ist in allen Fällen undurchsichtig, meist schwach gelb gefärbt und von homogener Beschaffenheit; bisweilen lassen sich aber auch ausserordentlich kleine oder grössere körnige Partikelchen in derselben erkennen, welche die feine Schattirung, die man in den ersten Momenten der Beobachtung eines Aleuronkornes oft wahrnimmt, hervorrufen.

Die Grundsubstanz der Aleuronkörner verschiedener Samen zeigt nur gegen sehr wenige Reagentien ein übereinstimmendes Verhalten.

---

1) Mit Grundmasse bezeichnet Pfeffer (a. a. O. p. 478) auch den Zellinhalt, welcher hiermit nicht verwechselt werden darf.

Vor Allem kann die leichte Löslichkeit in verdünnter Kalilauge (Pfeffer), Ammoniak (Hartig) und phosphorsaurem Natron (Pfeffer) als allgemeine Charakteristik der Grundsubstanz aufgestellt werden. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich festgestellt, dass letzteres Reagenz am vortheilhaftesten und zwar in gesättigter Lösung anzuwenden ist, die Dauer der Einwirkung desselben sich aber nicht auf ein bestimmtes Maass festsetzen lässt. Meist ist in 5—10 Minuten die Lösung vollendet. Gegen alle anderen Reagentien (Wasser, Sublimatalkohol etc.) zeigt die Grundsubstanz der Aleuronkörner verschiedener Samen ein durchaus anderes Verhalten, welche Erscheinung uns zu der Annahme berechtigt, dass dieselbe auch aus chemisch verschieden zusammengesetzten Eiweissstoffen gebildet ist.

In Wasser ist die Grundsubstanz sehr vieler Aleuronkörner, zumal solcher, bei welchen sie viele kleine Einschlüsse enthält oder überhaupt einschlussfrei ist, mit ausserordentlicher Schnelligkeit löslich, so dass man selbst bei sehr schneller Manipulation in den Zellen der Samenschnitte nur die zarten Conturen der Hüllmembran erblickt, innerhalb welcher die Einschlüsse in Molecularbewegung gerathen sind; oder aber es ist vollständige Zerstörung eingetreten, so dass nichts mehr die Präexistenz der Aleuronkörner verräth. — Bei einer Anzahl von Aleuronkörnern vermag das Wasser, selbst bei ziemlich andauernder Einwirkung, nur eine bestimmte Substanz aus der Grundsubstanz herauszulösen.

Die vorher grauweiss erscheinende Hüllmasse ist nun homogen und durchsichtig geworden und lässt uns sowohl die Hüllmembran als auch die stets constante Lagerung der Einschlüsse auf das Schönste erkennen. Bei wieder anderen Aleuronkörnern geht die Einwirkung des Wassers noch einen Schritt weiter; es treten innerhalb der Grundsubstanz Vacuolen oder Schichtungen auf, welche den Beobachter leicht zu Täuschungen veranlassen.

In allen Fällen aber wirkt Wasser mehr oder weniger lösend auf die Grundsubstanz ein, und man kann stets durch eine längere Einwirkung eine mehr oder minder vollständige Zerstörung des Aleuronkornes hervorbringen [1]).

Bringt man Aleuronkörner in Wasser von 100° C., so wird nur eine gegen Wasser von gewöhnlicher Temperatur widerstandsfähigere

1) Pfeffer, a. a. O. p. 447 u. 453.

Grundsubstanz coagulirt (Pfeffer), dagegen gaben mir viele Versuche das Ergebniss, dass eine leicht angreifbare durch siedendes Wasser sofort zerstört wird (Amygdalus, Lupinus, Arachis etc.).

Um diesem leichten Zerfall der ihrer Grundsubstanz beraubten Aleuronkörner wirksam zu begegnen, wurde zuerst von Pfeffer[1]) die Fixirung derselben durch Maceration der Schnitte in einer 2procentigen alkoholischen Sublimatlösung angewendet. Allein meine Versuche lehrten mich, dass eine leicht in Wasser lösliche Grundsubstanz auch durch diese Behandlung nicht gehärtet wird; selbst nach wochenlanger Maceration in dieser Flüssigkeit wird dieselbe in wenigen Augenblicken von Wasser gelöst (Amygdalus, Triticum, Zea Mais etc.). Ausserdem hat diese Methode neben vielen anderen Unbequemlichkeiten den Nachtheil, dass diejenige Grundsubstanz, welche mit Sublimat eine in Wasser beständige Verbindung eingeht, ihr natürliches Aussehen verliert, vollständig granulirt erscheint und nur durch Kalilauge gelöst werden kann, gegen phosphorsaures Natron dagegen vollständig unempfindlich geworden ist.

Viele zur Ermittelung eines besseren Verfahrens angestellten Versuche ergaben negative Resultate, bis ich endlich in dem absoluten Alkohol ein Mittel fand, durch dessen Anwendung die geschilderten Nachtheile vermieden werden. Es genügt in allen Fällen eine ein- bis zweitägige Maceration der Aleuronkörner in absolutem Alkohol, um sowohl die Grundmasse zu härten, als auch durch Lösung des die Aleuronkörner fast stets begleitenden Oeles die Schnitte aufzuhellen. Die mit absolutem Alkohol behandelte Grundsubstanz erscheint in den ersten Momenten der Beobachtung in Folge Wasserentziehung etwas contrahirt, nimmt aber bald ihre natürliche Gestalt an und verhält sich gegen Reagentien nun genau so, wie die nicht macerirte. Bei einer in Wasser sehr leicht löslichen Grundsubstanz tritt dieser Zustand freilich viel früher ein; allein durch einige Schnelligkeit in der Manipulation ist man sehr wohl im Stande, dieser Unannehmlichkeit vorzubeugen.

3. Die Einschlüsse.

a) Proteïnkrystalloide.

Die Krystalloide kommen von allen Einschlüssen am seltensten im Aleuronkorne vor und sind dann stets von einem oder mehreren

1) Pfeffer, a. a. O. p. 441 u. 443.

Globoiden begleitet. Sie besitzen nicht immer die von regelmässigen Flächen und Kanten begrenzten Formen, häufig sind sie abgerundet und ihre Oberfläche mit tiefen Sprüngen und Rissen versehen. Immer aber sind sie durch ihre homogene Beschaffenheit und ihre relative Durchsichtigkeit scharf gegen die Grundsubstanz differenzirt. Jedes Krystalloid ist von einer besonderen, ausserordentlich zarten Membran umgeben [1]). Von der Existenz dieses Häutchens kann man sich durch Anwendung von kali- oder säurehaltigem Glycerin nur schwierig überzeugen. Am einfachsten gelang mir die Sichtbarmachung dieser Membran durch die sich langsam vollziehende lösende Einwirkung des Kalkwassers. Lässt man zu einem krystalloidführenden Aleuronkorn langsam Kalkwasser treten (Taf. II, Fig. 2a—h, Linum usitatissimum), so wird zunächst die Hüllsubstanz und später die Membran des Kornes gelöst. Erst dann beginnt die Einwirkung auf das Krystalloid. Im ersten Stadium quillt es etwas auf und büsst dadurch seine krystallähnliche Gestalt ein (b u. c), um die einer Kugel anzunehmen. Alsbald bilden sich nun im Innern viele kleine Vacuolen (d u. e), die nach und nach zu einer grösseren zusammenfliessen (f u. g). Die Membran ist nun nicht mehr im Stande, dem starken Turgor zu widerstehen, sie zerreisst, die Lösung des Krystalloids vertheilt sich im Zellinhalt, und die Membran schlafft zu einem faltigen Häutchen zusammen, welches noch lange deutlich sichtbar bleibt, um dann später auch in Lösung zu gehen.

Die Krystalloide besitzen bezüglich ihres chemischen Verhaltens eine viel grössere Uebereinstimmung als die Grundsubstanz verschiedener Aleuronkörner.

Alle Krystalloide sind in Wasser vollständig unlöslich [2]). Bringt man die Krystalloide in Wasser von 60° C., so wird ein scharf umschriebener Kern coagulirt (Taf. II, Fig. 18a – c, Ricinus communis). Mit dem Steigen der Temperatur schreitet die Undurchsichtigkeit bis zum Rande vor, das ganze Krystalloid quillt auf und erfüllt das ganze, ebenfalls gequollene Aleuronkorn als schwammige Masse

1) Pfeffer, a. a. O. p. 456 ff. — Nägeli, a. a. O. p. 133.

2) Bezüglich der Krystalloide der Paranuss habe ich meine Untersuchungen wegen Mangels an frischem Material noch nicht abschliessen können, doch kann ich schon jetzt sicher feststellen, dass sie gegen Reagentien ein durchaus anderes Verhalten zeigen als die Krystalloide der übrigen, von mir untersuchten Aleuronkörner.

(Fig. 18c). Eine Erhaltung der Gestalt, die viele Autoren beobachtet haben wollen, findet niemals statt; alle Krystalloide nehmen ausnahmslos bei 100° C. eine blasig-schwammige Beschaffenheit an, und ein scharf conturirter Umriss lässt sich nicht mehr feststellen. Durch längeres Aufbewahren der Krystalloide in kaltem, viel schneller in heissem Glycerin werden sie von aussen nach innen fortschreitend gelöst (Taf. II, Fig. 19a, b).

Ein Erhitzen der Krystalloide auf höhere Temperaturen habe ich durch Einbetten derselben in Oel und Paraffin bewirkt, allein diese Umhüllungsmittel schützen dieselben derartig, dass selbst eine Temperatur von 150° C. keine Einwirkung auf das Aleuronkorn bezw. auf das Krystalloid besitzt.

Ebenso unlöslich wie in Wasser sind die Krystalloide in einer gesättigten Lösung von Natriumphosphat. Schon Pfeffer hat diese Beobachtung gemacht, und ich möchte die Wichtigkeit dieser Eigenschaft der Krystalloide ganz besonders hervorheben. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich bewiesen, dass man Samendurchschnitte in diesem Medium wochenlang aufbewahren kann, ohne die geringste lösende Einwirkung auf die Krystalloide zu beobachten. Nur solche Krystalloide, welche nicht zur vollständigen Ausbildung gelangten, und deren Kern also aus Grundsubstanz besteht, werden von dieser befreit und erscheinen nun durchlöchert. Phosphorsaures Natrium löst die Hüllsubstanz, welche sich fest an das Krystalloid angelegt hat und oft die Form desselben verdeckt, nach einiger Zeit vollständig ab, und die eigentliche Gestalt des Krystalloids tritt nun scharf hervor. Bisweilen hat sich auch in die Risse und Spalten des Krystalloids Hüllmasse eingelagert, welche alsbald gelöst wird und nicht selten einen Zerfall des Krystalloids herbeiführt. Auch solche Krystalloide büssen ihre Gestalt ein, welche sich in ihrer Ausbildung gegenseitig hinderten und nur durch Grundsubstanz zusammengekittet wurden.

Durch diese Unlöslichkeit der Krystalloide in gesättigter Natriumphosphatlösung besitzen wir also ein untrügliches Erkennungsmittel für dieselben, da sowohl Hüllmembran und Grundsubstanz und, wie ich später zeigen werde, alle übrigen Einschlüsse in derselben löslich sind.

In allen Fällen, in welchen die Globoide ein krystalloidähnliches Aussehen haben, oder in dem Präparat nur wenige, leicht zu über-

sehende krystalloidführende Aleuronkörner vorhanden sind, bleiben nach der Behandlung mit Natriumphosphat die Krystalloide als scharf umschriebene Körper zurück und können durch weitere Reagentien leicht ihrer Natur nach charakterisirt werden.

Jodjodkalium färbt die Krystalloide wie auch die Grundsubstanz gelb bis gelbbraun; durch Natriumphosphat wird diese Färbung aufgehoben.

Durch Maceration in 2procentigem Sublimatalkohol büssen sie in Folge der Bildung einer Quecksilberverbindung ihre homogene Beschaffenheit ein und erhalten ein graukörniges Aussehen.

Durch verdünnte Kalilauge werden alle Krystalloide, auch die vorher in Sublimatalkohol macerirten, schnell gelöst.

Ich habe gefunden, dass von allen verdünnten Alkalien das Kalkwasser als Lösungsmittel der Krystalloide den Vorzug verdient, da es wie kein anderes Reagenz die einzelnen Stadien der Lösung in erwünschter Weise zu beobachten gestattet.

Durch längeres Lagern der Krystalloide in salpetersaurer Silberlösung erhalten sie in Folge der Einlagerung von metallischem Silber ein graukörniges Aussehen.

b) Die Globoide.

Als Globoide bezeichnen wir die fast immer homogenen, durchsichtigen, kugelförmigen, selten traubigen oder wurmförmigen Einschlüsse der Aleuronkörner, welche einzeln oder zu vielen in denselben vorhanden sind, und welche, wie Pfeffer gezeigt hat, aus einem Kalk- und Magnesium-Doppelsalz einer mit einem organischen Körper gepaarten Phosphorsäure nebst Spuren von Proteïn bestehen. Nach neueren Ansichten soll zwar ein Magnesiumvitellat in den Globoiden enthalten sein; jedenfalls aber besitzen die Globoide aller Aleuronkörner dieselbe chemische Zusammensetzung, denn sie zeigen gegen Reagentien ein durchaus übereinstimmendes Verhalten.

Sie sind unlöslich in kaltem und siedendem Wasser, unlöslich ferner in verdünnten Alkalien, Kalkwasser, Kalilauge etc. Concentrirte Kalilauge, ebenso wie verdünnte Säuren, namentlich Essigsäure, führen sie sofort in Lösung über. Die Angabe Pfeffer's[1]), dass die Globoide in verdünnter Kalilauge vollständig unlöslich seien,

1) Pfeffer, a. a. O. p. 477.

habe ich nicht bestätigt gefunden. Nach einiger Zeit, oft schon nach wenigen Stunden, werden durch die Einwirkung der Kalilauge concentrische Schichten gebildet, worauf alsbald vollständige Lösung eintritt. Auch Kalkwasser ist im Stande, diese eigenthümliche Schichtung hervorzubringen (Taf. II, Fig. 2h).

Durch Jodjodkalium werden sie nicht oder nur äusserst schwach gefärbt, wodurch sie sich auf den ersten Blick von den Krystalloiden und der Grundsubstanz unterscheiden.

Weit wichtiger aber ist ihr Verhalten gegen eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natrium. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich gefunden, dass alle Globoide in diesem Reagenz wenn auch langsam und erst nach Verlauf mehrerer Stunden, aber vollständig löslich sind. Zur Anstellung dieser Lösungsversuche eignen sich am besten die grossen Globoide von Vitis vinifera. Taf. IV, Fig. 10 zeigt ein im vorgerückten Lösungsstadium befindliches Globoid dieser Pflanze. Die Lösung schreitet, nachdem diejenige der Grundsubstanz bereits erfolgt ist, allmählich von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten vor. Die Randschicht tritt scharf hervor und documentirt sich durch ihre Widerstandsfähigkeit unzweifelhaft als ein zartes Hüllhäutchen, mit welchem das Globoid umgeben war. Auch die oft im Globoid enthaltenen Krystalle werden nun scharf sichtbar. Nach längerer Einwirkung verschwinden die Schichten mehr und mehr, und die noch vorhandene äusserste Membran des Aleuronkornes umgiebt nun eine homogene Masse, bis schliesslich auch diese Membran gelöst wird, und jede Spur des Aleuronkornes verschwunden ist.

Die vorher mit 2procentigem Sublimatalkohol behandelten Globoide werden hierdurch in phosphorsaurem Natrium nicht unlöslich. Es ist mir gelungen, aus einem so behandelten Aleuronkorn das Globoid vollständig durch 24stündiges Einlegen herauszulösen, während die übrigen Bestandtheile: Grundsubstanz [1]), Krystalloid und Membran völlig intact blieben. Dass in der That ein solches Herauslösen stattgefunden hatte, ging dadurch unzweifelhaft hervor, dass nun das Aleuronkorn nach Behandlung mit verdünnter Kalilauge oder Kalkwasser spurlos gelöst wurde, während sonst an der Stelle eines jeden Kornes das kugelige Globoid zurückblieb.

1) Bezüglich des Verhaltens der mit Sublimatalkohol behandelten Grundsubstanz gegen Natriumphosphat vergleiche p. 14.

Andere Reagentien, wie salpetersaures Silber, Osmiumsäure etc., sind von wenig charakteristischer Einwirkung auf die Globoide.

c) Die Krystalle.

Die in den Aleuronkörnern eingeschlossenen Krystalle, welche sich schon beim blossen Anblick durch ihr Lichtbrechungsvermögen als solche documentiren, bestehen stets aus oxalsaurem Kalk. Diejenigen, die in Form von Stäbchen, Rhomboëdern, Hendyoëdern etc. vorkommen, bestehen in ihrer ganzen Masse aus dieser Verbindung, solche Krystalle aber von der Gestalt morgensternförmiger Drusen, welche sich hauptsächlich als Einschlüsse der Aleuronkörner vorfinden, besitzen ausserdem eine zarte plasmatische Membran und auch gewöhnlich einen aus Proteïnsubstanzen bestehenden, schwach gelblich gefärbten Kern (Taf. III, Fig. 8a, b). Da die Drusen nicht immer eine Kugelgestalt besitzen, sondern häufig Cylinderschnitte darstellen, ist dieser Kern nicht zu übersehen. Die von Pfeffer [1]) vorgeschlagene Reaction mit Jodsalzsäure zur Sichtbarmachung des Proteïnkernes führt zu keinem positiven Ergebniss, da der ganze Krystall der Salzsäure zum Opfer fällt, und der Proteïnkern in die entstehende Strömung mit hineingerissen wird.

Es ist mir in anderer Weise gelungen, mich von der Existenz des Kernes zu überzeugen. Wenn man allmählich, nachdem Grundsubstanz und, wenn nöthig, das Krystalloid durch verdünnte Kalilauge gelöst sind, eine gesättigte Lösung von Natriumphosphat auf die Krystalldruse einwirken lässt, so sieht man zunächst, dass sich die Membran des Krystalls deutlich von dem Rande der eigentlichen Krystallsubstanz abhebt, der Kern sich aber alsbald aufhellt und allmählich gelöst wird. Der Krystall besitzt nun ein lichthelles, centrales Loch (Taf. IV, Fig. 7). Auch die zwischen die Spalten und Strahlen eingebettete Grundsubstanz wird nach einiger Einwirkung gelöst, und wir erblicken nun das eigentliche Skelett des Krystalls. Bei fortgesetzter Einwirkung vermag indessen der Krystall selbst der lösenden Kraft des phosphorsauren Natriums nicht zu widerstehen. Auch Kalilauge [2]) wirkt nach einiger Zeit lösend auf Krystalle von oxalsaurem Kalk. — Solche Krystalldrusen sind nicht immer von der Grundsubstanz eines Aleuronkornes umschlossen, wir finden sie häufig

1) Pfeffer, a. a. O. p. 471.
2) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie p. 102.

frei im Zellinhalte liegen, dann aber gewöhnlich in isolirten Zellen. Beispiele dieser Art sind Tiglium officinale (Taf. IV, Fig. 9 u. 7), Oenanthe Phellandrium (Taf. III, Fig. 8b), Daucus Carota, Elettaria Cardamomum (Taf. IV, Fig. 1, in den stärkemehlführenden Zellen des Perisperms).

Sie unterscheiden sich in keiner Weise von den im Aleuronkorn vorhandenen. Auch die in Globoide eingebetteten Krystalle (Daucus [Taf. III, Fig. 14c], Vitis) zeigen dasselbe Verhalten.

Präparationsmethoden.

Zur Anstellung der vorstehend beschriebenen Reactionen der Aleuronkörner und ihrer Einschlüsse lasse ich nun eine Schilderung meiner Präparationsmethode folgen, welche mir in allen Fällen sichere Resultate lieferte.

Bei der Beobachtung eines Samendurchschnittes in Wasser werden wir mit Rücksicht auf die zerstörende Einwirkung des Wassers auf die Aleuronkörner unser Augenmerk vornehmlich auf die Lagerung derselben in der Zelle oder in bestimmten Zellpartieen etc. und auf ihre Begleiter: Fett, Stärkekörner, Krystalle etc. richten. Legt man einen solchen Schnitt in fettes Oel (am besten eignet sich hierzu Mandelöl), so erhalten wir zwar über die Umrisse des Aleuronkornes und über etwa vorhandene Krystalle oder Globoide, welche aus der homogenen Masse des Kornes als Vacuolen hervorleuchten (Taf. IV, Fig. 3, Hyoscyamus niger; Taf. III, Fig. 11, Carum Carvi; Taf. II, Fig. 13 und 20, Ricinus communis; Taf. IV, Fig. 9, Tiglium officinale in Oel liegend), den erwünschten Aufschluss. Allein da die Krystalloide innerhalb eines derartig eingebetteten Aleuronkornes niemals sichtbar sind, und die Klarheit der Bilder häufig zu wünschen übrig lässt, so ist diese vielfach empfohlene Methode wenig anwendbar. Einen vollkommenen Einblick in die Verhältnisse des Aleuronkornes gewinnen wir erst nach Entfernung des dieselben fast stets begleitenden fetten Oeles. Vollständig ölfreie Samen sind ausserordentlich selten (Pisum, Ervum, Phaseolus, Physostigma etc.). Zur Lösung dieses Oeles ist Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Aether, Benzol etc. vorgeschlagen worden, allein alle diese Substanzen bringen, wie mich zahlreiche in dieser Richtung angestellte Versuche mit den Aleuronkörnern von Ricinus, Linum, Arachis etc. lehrten, mehr oder minder

tief greifende Veränderungen im Aleuronkorn selbst hervor. Das ausschliesslich anwendbare Mittel zur Entfernung des fetten oder aetherischen Oeles bleibt absoluter Alkohol. Erst dann, wenn man sich überzeugt hat, dass sehr widerstandsfähige Aleuronkörner vorliegen, kann man dem Alkohol etwas Aether hinzufügen, wodurch etwa vorhandene krystallinische Fette leichter gelöst werden (Anamirta, Myristica etc.). Diese Entfettung erreichte ich in der Weise, dass ich eine grössere Anzahl von Schnitten in kleine, ca. 3 ccm fassende Fläschchen brachte, welche bis zur Hälfte mit absolutem Alkohol gefüllt waren, und alsdann 24 Stunden fest verkorkt stehen liess. Nach Verlauf dieser Zeit nahm ich mit Hilfe einer Präparirnadel die Schnitte heraus und konnte sie nun, ohne ein Zerstören befürchten zu müssen, unter Wasser beobachten. Wie schon oben erwähnt wurde, besitzt der absolute Alkohol die Eigenschaft, die Grundsubstanz zu härten und für einige Zeit gegen Wasser unempfindlich zu machen. Die normale Reactionsfähigkeit der Grundsubstanz wird indessen durch Wasseraufnahme sehr bald wieder hergestellt. Die in Sublimatalkohol macerirten Aleuronkörner zeigen dagegen ein durchaus anderes Verhalten; sie sind eben chemisch verändert und eignen sich nicht zur Anstellung von Reactionen.

Die in absolutem Alkohol macerirten Aleuronkörner kann man nun auch in aetherischen Oelen, rectificirtem Terpenthinöl, Citronenöl etc., beobachten; man muss allerdings berücksichtigen, dass diese Oele nach einiger Zeit lösend wirken.

Lässt man zu einem so behandelten, in Wasser liegenden Schnitte, den man zweckmässig mit Jodjodkalium tingirt, nun allmählich verdünnte Kalilauge, oder besser Kalkwasser, hinzufliessen, so bleiben nach Lösung der Grundsubstanz und etwaiger Krystalloide die Globoide allein zurück (Taf. IV, Fig. 8, Tiglium officinale).

Ueber das Vorhandensein der Krystalloide erhalten wir den besten Aufschluss durch Einlegen der Schnitte in eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natron und mehrstündige Aufbewahrung derartig beschickter Objectträger in der feuchten Kammer. Die Krystalloide bleiben nach erfolgter Lösung der Grundsubstanz, Globoide und Krystalle ungelöst zurück und können dann unschwer als solche charakterisirt werden.

Als Einlegemittel solcher in absolutem Alkohol macerirten

Schnitte kann man Glycerin nicht verwenden, da selbst ein wasserfreies Präparat nach einiger Zeit stets lösend auf die Grundsubstanz und Krystalloide einwirkt. Man bedient sich am besten des fetten Oeles, welches eine Spur Jod gelöst enthält. Mit dem Einschliessen wartet man so lange, bis das Jod aus dem, das Präparat umgebenden Oele verdunstet ist; das Bild gewinnt dadurch an Helligkeit, während die Aleuronkörner das Jod in sich aufspeichern und nun scharf sichtbar werden. Da die Krystalloide in grösserem Maasse die Fähigkeit besitzen, Jod einzulagern als die Grundsubstanz, so treten nach einiger Zeit auch ihre Umrisse, die in reinem Oel niemals sichtbar sind, mehr oder weniger scharf hervor. Die Globoide erscheinen stets als helle, farblose Kugeln innerhalb der tief gelb gefärbten Grundsubstanz. — Ich habe gefunden, dass diese Präparate von guter Haltbarkeit sind, wenn man die Deckgläschen vor dem Lacküberzug mit einem Wachsrand versieht.

II.

Vergleichende Untersuchung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner nach Pflanzenfamilien.

Die bisherige morphologische Betrachtung der Aleuronkörner hat sich auf die äussere Form, auf das Vorhandensein von Einschlüssen und deren Gruppirung zu einander beschränkt und hat ergeben, dass im Vergleich zu anderen geformten Reservestoffen die Aleuronkörner eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit dieser Verhältnisse darbieten. Die Stabilität ihrer Formen bei ein und derselben Pflanze, ihre Aehnlichkeit innerhalb derselben Familie verleihen ihnen einen hohen diagnostischen Werth, der aber erst dann zur Geltung kommen kann, wenn wir die für die einzelnen Pflanzenfamilien charakteristischen Typen der Aleuronkörner kennen.

In Folgendem habe ich es versucht, die Aleuronkörner nach Art ihrer Einschlüsse und ihres Vorkommens in bestimmte Gruppen einzutheilen, welche ihre Classificirung ermöglichen sollen. Innerhalb dieser Gruppen gewähren die Grössenverhältnisse der Aleuronkörner

und diejenigen der Einschlüsse, das chemische Verhalten der Grundsubstanz etc. immer noch Anhaltspunkte genug, um ein weiteres Bestimmen zu ermöglichen. Die Namen der einzelnen Typen habe ich nach der Familie gewählt, welche vorzugsweise Repräsentanten der betreffenden Gruppe liefert. Die Aleuronkörner lassen sich von dem einschlussfreien, unscheinbaren bis zu dem durch die Schönheit seiner Formen und seiner Einschlüsse ausgezeichneten aufsteigend nach folgenden Typen classificiren:

1. Gramineentypus,
2. Leguminosentypus,
3. Umbelliferentypus,
4. Euphorbiaceentypus.

1. Der Gramineentypus.

Bei den Gramineen bildet zwar das Stärkemehl den hauptsächlichsten Reservestoff, allein auch Aleuronkörner sind in ziemlich bedeutender Anzahl vorhanden, viel mehr als bisher in der Litteratur betont worden ist. Wir können bei jeder Gramineenfrucht deutlich zwei Kategorieen von Aleuronkörnern unterscheiden: diejenigen, welche den Inhaltsbestandtheil der sogenannten Kleberzellen bilden, und diejenigen, welche in allen Theilen des Embryos enthalten sind. Alle übrigen Gewebetheile der Gramineenfrucht sind von Stärkekörnern dicht erfüllt.

Die äusserste Zellschicht des Endosperms, welche aus isodiametrischen Zellen mit stark verdickten Wänden besteht, enthält kugelig-polyëdrische Körner von 1—2 Mik. Durchmesser, welche zu einem die ganze Zelle ausfüllenden Ballen zusammengeklebt sind. Diese ausserordentlich regelmässig gestalteten Körner sind von allen Autoren: Hartig[1]), Maschke[2]), Johannsen[3]), als Aleuronkörner bezeichnet worden. Wie weit sie indessen verdienen zu diesen Körpern gezählt zu werden, möchte ich durch die Beschreibung ihres Verhaltens gegen einige Reagentien näher erörtern.

---

1) Vergl. p. 3.

2) Vergl. p. 4.

3) W. Johannsen, Entwickelung und Constitution des Endosperms der Gerste, Zeitschr. f. d. ges. Brauwesen, 1884.

Bei der Betrachtung eines frischen Schnittes in Wasser sieht man zunächst eine starke Streckung der Zellwände, wodurch der undeutlich granulirte Inhaltskörper, der dieser Ausdehnung nicht folgen kann, von der Wandung losgelöst wird und contrahirt erscheint. Unter Oel betrachtet erfüllt dieser Körper die Zelle vollständig und liegt den Wandungen dicht an, während die Zellwände schwach wellig gebogen sind. Durch die Einwirkung des Wassers tritt die Körnelung des Inhaltskörpers zuerst deutlicher hervor, verschwindet aber bald vollständig, und der ganze Klumpen besitzt nun ein graugelbes Aussehen und unbestimmbare Structur. Eine concentrirte Lösung von phosphorsaurem Natrium wirkt nur sehr schwach auf diesen Körper ein, sehr energisch dagegen Salzsäure. Durch dieses Reagenz wird der Zellinhalt nach kurzer Zeit in eine ansehnliche Menge verschieden grosser, kugeliger Körper verwandelt, welche irrthümlich für die Globoide dieser Aleuronkörner gehalten worden sind. Durch Osmiumsäure oder concentrirte Schwefelsäure lässt sich aber leicht beweisen, dass diese während der Beobachtung entstehenden Körper Oeltröpfchen sind. Da ihre Gegenwart aber die Natur des vorher vorhandenen Zellinhaltes nicht genau feststellen lässt, so müssen wir dieselben durch Maceration der Schnitte in absolutem Alkohol zu entfernen suchen. In einem derartig behandelten Schnitte sieht man, dass die einzelnen Körnchen in ein zierliches Plasmanetz eingebettet sind, dessen Maschengewebe scharf hervortritt (Taf. III, Fig. 1, Triticum vulgare). Die Einwirkung des Wassers auf diese regelmässig polyëdrischen, fast gleich grossen Körnchen, welche theils eine homogene Beschaffenheit, theils Sprünge und Risse zeigen, ist eine sehr langsame. Bei vielen bemerkt man zwar eine concentrische Schichtung, aber auch nach tagelangem Aufbewahren in der feuchten Kammer tritt nur unvollständige Lösung ein. Der helle durchsichtige Kern ist von einem mattgrauen Ringe umgeben, welcher wahrscheinlich die in Wasser völlig unlösliche Membran des Kornes darstellt (Taf. III, Fig. 3). Eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natrium löst schon nach mehrstündiger Einwirkung die Körnchen vollständig und lässt allein das zierliche, nun schwach grau gefärbte Maschennetz zurück (Taf. III, Fig. 2). Verdünnte Kalilauge dagegen, welche sonst die Aleuronkörner ohne jeden Rückstand löst, wirkt zuerst stark quellend. Der Ballen wird

weit über die Zellwandungen ausgedehnt, und die nun durch Quellung kugeligen Körner scheinen aus ihren Lagern hervorgehoben zu werden, so dass sie jetzt regellos über einander liegen. Allmählich schreitet die Lösung von aussen nach innen vor. Der Kern ist am längsten widerstandsfähig, endlich verschwindet auch dieser, und es hinterbleibt ein mattgrauer vergänglicher Fleck von der Grösse des vorhanden gewesenen Kornes. Fügt man nun verdünnte Essigsäure hinzu, so wird das durch das starke Aufquellen den Blicken entschwundene Plasmanetz plötzlich auf seine früheren Dimensionen contrahirt und wieder scharf sichtbar. Kalkwasser, welches sonst stets die Grundsubstanz der Aleuronkörner löst, ist selbst nach längerer Zeit ohne Einwirkung, wenigstens geht dieselbe nicht über die des Wassers hinaus.

Das Plasmanetz ist nach vorheriger Tinction mit Jodjodkalium in concentrirter Schwefelsäure ohne Blaufärbung löslich.

Vollständig analog verhält sich der Inhalt der sog. Kleberzellen bei einigen Cruciferen (Brassica, Sinapis).

Aus dem abweichenden Verhalten dieser stets einschlussfreien Körnchen gegen verdünnte Kalilauge und Kalkwasser geht hervor, dass wir es hier nicht mit wirklichen Aleuronkörnern, sondern mit ausserordentlich ähnlichen Gebilden zu thun haben, welche in einer mit fettem Oel in molecularer Mischung befindlichen Grundmasse eingebettet sind.

Diese hervorgehobenen Unterschiede treten noch mehr zu Tage, wenn wir uns nun der Betrachtung der im Scutellum und den im Embryo vorhandenen Aleuronkörnern zuwenden. Alle von mir untersuchten Gramineenfrüchte führen in den Zellen dieser ölreichen Gewebetheile eine grosse Anzahl 2—3 Mik. grosser, kugeliger, normaler Aleuronkörner. Ihre Grundsubstanz ist leicht in Wasser löslich, so dass die ausserordentlich kleinen, sehr zahlreichen Globoide, welche sie als Einschlüsse führen, beim Hinzubringen von Wasser in schwingende Bewegung gerathen (Taf. III, Fig. 10, Triticum vulgare; Fig. 6, Secale cereale). Nur Zea Mais macht eine Ausnahme. Hier finden wir im Scutellum und Embryo zerstreute Stärkekörnchen und Aleuronkörner, welche sich von denen der Kleberschicht nicht unterscheiden (Taf. III, Fig. 9a—f, Stärkekörner).

Die Thatsache, dass das Scutellum fast ausschliesslich Aleuron

führt, lässt dasselbe nicht nur als ein Saugorgan, sondern auch als ein Reservematerial speicherndes Gewebe erscheinen. In der That ist es gelungen, nach Abtrennung des Endosperms Pflänzchen zu erziehen, welche allerdings nicht die kräftige Entwickelung normaler Gramineenkeimlinge zeigten. — Die den Gramineen nahestehende Familie der Cyperaceen zeigt ähnliche Verhältnisse. Die ölreichen Zellen des verdickten Embryos und diejenigen der denselben umschliessenden Cotyledonarscheide, welche gegen das Endosperm scharf differenzirt ist, enthalten zahlreiche, kleine, kugelige Aleuronkörner.

Jedes Korn besteht aus einem grossen Globoid und aus einer nur schwach entwickelten Grundsubstanz. In den Zellen des Endosperms, welches von keiner besonders differenzirten Kleberschicht umgeben ist, findet sich dagegen ein die Stärkekörner an Grösse weit überragender, unregelmässig-polyëdrischer, homogener Körper, der durch Jodjodkalium tief gelb gefärbt wird und in verdünnter Kalilauge leicht löslich, in phosphorsaurem Natron dagegen unlöslich ist (Taf. III, Fig. 4a, b, c). Er zeigt weder eine scharf differenzirte Membran, noch Einschlüsse, so dass er wahrscheinlich in die Kategorie der Krystalloide gehört.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass bei den Gramineen und Cyperaceen nur die aleuronführenden Zellen ölhaltig sind. — Wenn wir den Inhalt der Kleberzellen auch als Aleuronkörner betrachten, dann können wir den Gramineentypus kurz folgendermassen präcisiren: Die Aleuronkörner sind auf bestimmte Gewebetheile der Frucht beschränkt, sie sind klein, einschlussfrei oder führen zahlreiche, sehr kleine Globoide.

2. Der Leguminosentypus.

Bei der grossen Mehrzahl der Leguminosen finden wir die Zellen der Keimblätter dicht von Aleuronkörnern erfüllt. Sie besitzen in den äusseren Zellreihen fast regelmässige Kugelgestalt, in den inneren dagegen sind sie durch gegenseitigen Druck unregelmässig eckig und kantig. Ihre Grundsubstanz ist in den meisten Fällen leicht in Wasser löslich oder gegen die Einwirkung desselben mehr oder weniger widerstandsfähig. Sie enthalten als Einschlüsse zahlreiche kleine Globoide. Nur bei Lupinus luteus sind Krystalle aufgefunden

worden. Diese einfache Form der Aleuronkörner mit bald grösseren, bald kleineren Globoiden finden wir ausser bei den Papilionaceen (Taf. IV, Fig. 4, Lupinus polyphyllus) und Caesalpiniaceen bei den meisten Pflanzenfamilien: Cruciferen (Taf. III, Fig. 18, Sinapis alba, in Wasser betrachtet), Liliaceen, Iridaceen (Taf. III, Fig. 19, Crocus), Melanthieen, Borragineen, Tiliaceen (Taf. III, Fig. 20, Tilia), Apocyneen, vielen Palmen, Strychnaceen, Ranunculaceen (Taf. III, Fig. 12, Nigella damascena) und einigen Compositen.

Bei den stärkeführenden Papilionaceen umgeben die in ein Plasmanetz gelagerten polyëdrischen Aleuronkörner die grossen Stärkekörner: Phaseolus, Vicia, Mucuna (Taf. III, Fig. 13), Ervum, Cicer, oder sie sind regellos mit gleich grossen Stärkekörnern vergesellschaftet: Arachis (Taf. IV, Fig. 5), dann aber globoidführend, oder überragen sogar die Stärkekörner an Grösse: Sophora. Mit Ausnahme von Arachis enthalten die stärkeführenden Papilionaceen nur völlig einschlussfreie Aleuronkörner, so dass die Behauptung Pfeffer's, dass Globoide in jedem Samen vorhanden sind, nicht aufrecht zu halten ist.

Die endospermhaltigen Leguminosen: Cassia, Ceratonia, Cercis, Anthyllis, Trigonella, Genista u. a. m. besitzen in ihrer sogenannten Kleberschicht polyëdrische, einschlussfreie Aleuronkörner, welche in ein ölreiches Plasmanetz gebettet sind (Taf. III, Fig. 16, Trigonella, Kleberzellen; a nach Maceration in absolutem Alkohol in phosphorsaurem Natrium, b eine solche in Wasser und c eine vorher nicht entölte Zelle in Wasser beobachtet). Durch ihre leichte Löslichkeit in verdünnter Kalilauge sind sie von denen der Gramineen leicht zu unterscheiden.

Auch die Aleuronkörner der Cotylen dieser Leguminosen sind in ein plasmatisches Gewebe eingebettet, welches durch Einlegen der Schnitte in phosphorsaures Natron (Taf. III, Fig. 17, Trigonella, a Aleuronkörner, b Plasmanetz), oder durch successive Behandlung derselben mit Kalilauge und verdünnter Essigsäure sichtbar gemacht werden kann.

Der Leguminosentypus umschliesst also Aleuronkörner von 5 bis 15 Mik. Durchmesser, welche wenige grössere oder zahlreiche kleine Globoide enthalten.

Die Aleuronkörner der stärkeführenden Leguminosen und diejenigen der Kleberschicht der endospermhaltigen sind einschlussfrei.

3. Der Umbelliferentypus.

Die Aleuronkörner der Umbelliferen besitzen schon eine viel höhere Organisation. Sie sind niemals einschlussfrei, ihre Globoide erreichen schon eine ziemliche Grösse, und hier begegnen uns zum ersten Mal zierlich gebaute Krystalldrusen als Inhaltsbestandtheile. — Wir finden bei den Umbelliferen stets zwei Arten von Aleuronkörnern: globoidführende und krystallführende. Sie besitzen meistens eine Grösse von 5 Mik., erreichen aber auch 9—11 Mik. und sind stets zahlreich in jeder Zelle des ausgedehnten Endosperms vorhanden. Ihre Gestalt ist fast regelmässig kugelig. Die Hüllmasse, bei den krystallführenden Aleuronkörnern gewöhnlich stärker entwickelt, als bei den globoidführenden, ist in allen Fällen leicht in Wasser löslich, bei vielen (Carum, Daucus, Foeniculum) sogar so plötzlich, dass wir sie bei der Beobachtung in Wasser niemals mehr vorfinden. Die regelmässig kugeligen, homogenen Globoide, gewöhnlich ein wenig excentrisch gelagert (Taf. III, Fig. 11, Carum), sind fast stets in der Einzahl, selten in der Mehrzahl im Korn vorhanden; zuweilen umschliessen sie noch einen Krystall (Taf. III, Fig. 14, Daucus). Die Krystalle, welche sich als Einschlüsse vorfinden, sind morgensternförmige Drusen. Sie erscheinen wie dicke Ringe von strahligem Bau, deren centraler Theil entweder von einer hell leuchtenden Scheibe oder von einem gelb gefärbten Kern (Proteïnkern) gebildet wird. Ihre Peripherie ist stets fein zackig, und gewöhnlich sind sie noch von einer äusserst zarten Membran umgeben. Selten finden wir wohlausgebildete Rhomboëder als Einschlüsse (Coriander). Die Krystalle sind ebenfalls in der Einzahl, selten zu 2—3 in einem Korn vorhanden. Charakteristisch für die Umbelliferen ist die Beschränkung dieser beiden Arten von Aleuronkörnern auf bestimmte Zellen oder Zellreihen, eine strenge Localisirung, welche selten unterbrochen wird. Meist findet man in 5—10 Zellreihen der Randpartie globoidführende, in den centralen Theilen krystallführende. Beide Arten sind entweder in gleicher Zahl: Anethum, Carum, Molospermum, Oenanthe, Pastinaca, Peucedanum,

Silaus, oder die globoidführenden in der Mehrzahl: Petroselinum, Cicuta, Scandix, oder endlich die krystallführenden in der Mehrzahl vorhanden: Coriandrum, Daucus, Foeniculum, Pimpinella, Sium.

In einigen globoidführenden Aleuronkörnern finden sich auch ein bis zwei Krystalloide als Einschlüsse: Aethusa, Coriandrum, Oenanthe, jedoch sind diese Körner sehr selten, oft nur zu 3—4 in jedem Querschnitt vorhanden. — Grosse, freiliegende, morgensternförmige Krystalldrusen mit Proteïnkern von 5—7,5 Mik. Durchmesser fand ich bei Oenanthe und Daucus.

Nach diesem Typus gebaut sind die Aleuronkörner von Vitis, diejenigen vieler Compositen und einiger Ranunculaceen, jedoch finden wir bei diesen Familien die Localisirung nicht so streng durchgeführt, wie bei den Umbelliferen, auch haben die Krystalle meist Stäbchenform.

Zu dem Umbelliferentypus würden also Aleuronkörner gehören von 5—10 Mik. Durchmesser, welche entweder Globoide oder Krystalle enthalten, jede Art nur auf bestimmte Zellen beschränkt.

4. Der Euphorbiaceentypus.

Zu diesem Typus zählen wir die Aleuronkörner höchster Ausbildung. Von den Einschlüssen: Globoiden, Krystallen und Krystalloiden dominiren die letzteren durch ihre Grösse und die Schönheit ihrer Formen, welche oft in keiner Weise den Krystallen anorganischer Körper nachstehen. Von den kleinen, fast kugeligen Krystalloiden (Taf. II, Fig. 21, Ficus), welche wir oft für Globoide zu halten geneigt sind, aufsteigend bis zu den 15—30 Mik. grossen, alle Krystallformen nachahmenden Krystalloiden (Myristica surinamensis[1]), Bertholletia, Elaeis etc.) finden wir eine lange Reihe mannigfaltiger Uebergänge. — Selten ist nur ein Krystalloid als Einschluss vorhanden (Taf. II, Fig. 1, 2, Linum; Taf. II, Fig. 12, Ricinus; Taf. IV, Fig. 2, Hyoscyamus); gewöhnlich sind es deren mehrere (Taf. IV, Fig. 6, Croton). In allen Fällen aber sind sie von Globoiden begleitet; nur die Kleinkörner von Ricinus und die in der Randschicht

1) Tschirch, a. a. O. p. 45.

der Cotylen von Linum usitatissimum befindlichen Aleuronkörner enthalten ausschliesslich Krystalloide. Freiliegende Krystalloide fand ich in der sog. Copra von Cocos nucifera.

Die Globoide sind entweder klein, dann aber zahlreich um und zwischen den Krystalloiden befindlich (Croton, Elaeis etc.), oder in der Mehrzahl der Fälle finden wir ein grosses und neben diesen kleinere, alle Abstufungen der Grösse zeigenden Globoide. Gleich grosse, kranzförmig um das Krystalloid gelagerte Globoide besitzen Ficus (Taf. II, Fig. 21) und die Cucurbitaceen. Der Fall, dass nur ein Krystalloid und dann ein excentrisch gelagertes Globoid vorhanden ist, gehört immerhin zu den selteneren (Solanaceen). Die Globoide sind hier wie in allen anderen Typen fast regelmässig kugelförmig, sehr selten finden wir sie traubig (Bertholletia).

Die Grundsubstanz, welche bei dieser Art von Aleuronkörnern die Bezeichnung Hüllmasse am treffendsten verdient, ist von nur geringer Ausdehnung. Bei vielen (Elaeis, Areca, Myristica surinamensis etc.) ist sie fast ganz geschwunden, während sie bei anderen (Ricinus, Solanaceen, Cannabis, Linum) auf den zwischen Globoiden und Krystalloiden entstehenden, von der Membran begrenzten Raum beschränkt ist. Sie füllt die entstehenden Lücken vollständig aus, so dass wir bei Betrachtung der Aleuronkörner in Oel, in welchem, wie schon früher gezeigt wurde, die Krystalloide niemals, die Globoide nur als Vacuolen sichtbar sind, nicht ahnen, welche regelmässig geformten Einschlüsse noch in diesen oft barok verzerrten Körpern vorhanden sind. — In Wasser ist die Grundsubstanz entweder sehr leicht löslich (Croton, Ricinus, Solanaceen etc.), oder von mehr oder minder grosser Beständigkeit (Linum, Rosa, Cannabis), so dass bei der Betrachtung der Schnitte in Wasser nicht immer die Form der Krystalloide klar zu Tage tritt, vielmehr ist allein, wie ich schon oben ausgeführt habe, durch längere Einwirkung von phosphorsaurem Natrium der wirkliche Umriss der Krystalloide zu erkennen.

Krystalle als Einschlüsse gehören zu den Seltenheiten. Sie befinden sich hier nicht in der Grundsubstanz, sondern gewöhnlich in den Globoiden: Myristica surinamensis (Tschirch), Aethusa Cynapium etc.

Freiliegende Krystalldrusen als alleinigen Inhaltsbestandtheil einer Zelle fand ich bei Tiglium officinale (Taf. IV, Fig. 9 u. 7).

Nach diesem Typus gebaut sind die Aleuronkörner zahlreicher Familien: Cupressineen, Abietineen, Palmen, Artocarpeen, Cannabineen, Myristicaceen, Linaceen, Aurantiaceen, Euphorbiaceen, Roseen, Solanaceen, Labiaten, Cucurbitaceen etc.

Der Euphorbiaceentypus ist also charakterisirt durch Aleuronkörner von 5 bis 60 Mik. Durchmesser, welche als Einschlüsse Krystalloide und Globoide stets, Krystalle sehr selten enthalten.

Anhangsweise an diese vorstehend gekennzeichneten Typen möchte ich noch die sogenannten Solitäre erwähnen. Mit diesem Namen bezeichnet man ein oder zwei durch ihre Grösse und die Grösse ihrer Einschlüsse hervorragende Aleuronkörner, welche in derselben Zelle noch von vielen kleinen begleitet sind: Vitis, Bertholletia, Silybum, Amygdalus etc.

III.

Untersuchungen über das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser.

Es ist bekannt, dass die Samen durch ein mehrstündiges Einquellen in Wasser in den Stand gesetzt werden, ihren zum Keimen nothwendigen Wassergehalt in kurzer Zeit aufzunehmen. Solche Samen gelangen schneller zur Keimung wie die vorher nicht eingequollenen.

Wie lange ein derartiges Einquellen andauern und wie oft es durch Austrocknen unterbrochen werden darf, selbst wenn die Keimung schon eingetreten ist, geht aus einigen Versuchen hervor, welche Nowoczek[1]) angestellt hat. Derselbe fand, dass sich die Samen in dieser Beziehung sehr verschieden verhalten. So werden z. B. vom Weizen nach dreimaligem Austrocknen noch 57 %, vom Hafer 77 %, vom Lein 30 %, von der Erbse 3 % der Samen keimfähig, nach siebenmaligem Austrocknen vom Weizen noch 1 %, vom Hafer noch 8 % etc.

1) Ueber die Widerstandsfähigkeit junger Keimlinge. Wissensch. pract. Untersuch., herausgegeben von F. Haberlandt, I. Bd., p. 122 ff.

Wenn wir nun die leichte Angreifbarkeit der meisten Aleuronkörner durch Wasser in Betracht ziehen, so liegt die Vermuthung nahe, dass das allmähliche Erlöschen der Keimkraft der Samen beim wiederholten Einquellen in einer mehr oder minder vollständigen Lösung der Aleuronkörner zu suchen sei, da ja die Hauptmenge der Proteïnstoffe in den Aleuronkörnern enthalten ist. Zur Erörterung dieser Frage habe ich verschiedene Samen einer ein- bis mehrtägigen Einwirkung des Wassers ausgesetzt und die eingetretenen Veränderungen der Aleuronkörner einer eingehenden Betrachtung unterzogen.

Bezüglich der Präparation der Aleuronkörner gequollener Samen will ich nicht verfehlen darauf hinzuweisen, dass dieselbe Schwierigkeiten verursacht. Ich habe gefunden, dass die Schnitte am besten gelingen mit einer vorher mit sehr wenig Mandelöl bestrichenen Klinge, und dass man durch blosses Einlegen der Schnitte in aetherisches Oel (Citronenöl, Terpenthinöl etc.) einen genügenden Einblick in die Verhältnisse der Aleuronkörner gewinnt, zumal wenn man über die Beschaffenheit der Aleuronkörner der betreffenden Pflanze schon vorher orientirt ist. Will man indessen vorzugsweise die Veränderungen der Einschlüsse studiren, so führt hier die Maceration der Schnitte in absolutem Alkohol allein zum Ziel.

1. Sinapis alba.

Der weisse Senf besitzt in jeder Zelle der Keimblätter zahlreiche Aleuronkörner, von denen die kleinsten 2 Mik., die Mehrzahl derselben dagegen 7,5 Mik. und die grössten 12 Mik. im grössten Durchmesser erreichen. Ihre Gestalt ist unregelmässig polyëdrisch, hervorgerufen sowohl durch gegenseitigen Druck, als auch durch den Druck der Zellwände, denen sie sich vollständig anschmiegen. Die schwach körnige Grundsubstanz ist wenig gelb gefärbt, wodurch die zarte Membran der Hüllhäute scharf hervortritt (Taf. III, Fig. 18). Die ausserordentlich zahlreichen, nur 0,5 bis 1,0 Mik. grossen Globoide sind gleichmässig durch die Masse des Kornes vertheilt und erscheinen nach einiger Einwirkung des Wassers als dunkle Punkte (Taf. III, Fig. 18). Wasser löst die Grundsubstanz nach kurzer Zeit vollständig, die Globoide gerathen dann innerhalb der wider-

standsfähigen Membran des Aleuronkornes in Molecularbewegung. Die Aleuronkörner der sogenannten Kleberschicht sind polyëdrische, die Zellen vollständig ausfüllende Körperchen, welche genau dasselbe Verhalten zeigen wie diejenigen der Gramineen (vergl. p. 25 ff.).

Nach zwölfstündigem Einquellen der Samen in Wasser war das Maximum der Quellbarkeit erreicht, und dieselben waren nun von einer starken Schleimhülle umgeben. Die Aleuronkörner zeigten ausser einer geringen Volumzunahme keine Veränderung.

Nach 24 Stunden waren die Aleuronkörner stark gequollen, die eckigen Formen waren abgerundet. Die Grundsubtanz war viel durchsichtiger geworden, so dass die Globoide schon im ersten Moment des Beobachtens sichtbar wurden.

Nach 48 Stunden waren die Conturen der Hüllmembran nur noch schwach bemerkbar, die Globoide traten noch schärfer hervor.

Das Einquellen wurde unter Erneuerung des Wassers noch weitere zwei Tage fortgesetzt, und nach dieser Zeit war wohl die Durchsichtigkeit der Grundsubstanz erhöht, ein bestimmter Theil derselben also durch Wasser herausgelöst worden, ein durch Lösung der Membran bedingter Zerfall der Körner war aber nirgends bemerkbar. Unter Oel betrachtet waren nun auch die Globoide sichtbar.

Lässt man derartig behandelte Samen trocknen, so erlangen zwar die Aleuronkörner ihre normale Grösse, aber ihre vorher glatte Oberfläche erscheint nun durch Einschrumpfung der Membran höckerig.

Nach allen Stadien dieses Einquellens waren die Samen keimungsfähig, entwickelten ein normales hypocotyles Glied und normale Cotylen.

Setzt man nun das Einquellen der Samen so lange fort, bis der die Samen umgebende Schleim zerstört ist, so zeigen auch zahlreiche Aleuronkörner eine tiefgreifende Veränderung. Die Grundsubstanz scheint fast gelöst zu sein, und die Membran ist so durchsichtig geworden, dass sie nur durch Hinzufliessenlassen von Essigsäure wieder hervortritt. Nur sehr wenige Aleuronkörner, namentlich die in der Randpartie der Cotylen gelegenen, waren vollständig zerstört, die Globoide befanden sich frei im Zellinhalt. Dagegen waren die in der Nähe der Procambiumstränge liegenden Zellschichten von Aleuron-

körnern bereits vollständig entblösst. Durch Austrocknen dieser Samen kehren die gequollenen Aleuronkörner, wie vorher beschrieben, zur normalen Gestalt zurück, niemals aber werden die schon gelösten reconstruirt.

Die so behandelten Samen waren immer noch sämmtlich keimungsfähig und entwickelten, wenn auch ein verkürztes hypocotyles Glied, so doch normale Cotylen.

Selbst nach einem 7—8maligen Trocknen und Wiedereinquellen konnte ein Zerstören sämmtlicher Aleuronkörner nicht hervorgebracht werden. In den mittleren Zellpartieen der Cotylen blieben sie stets intact, so dass man vielfach noch die Conturen der Membranen erkennen konnte. — Die Aleuronkörner der Kleberschicht zeigten nicht die geringste Veränderung. — Die so behandelten Samen waren noch zu 50 % keimungsfähig.

Bei einer Anzahl von Samen entfernte ich die Schleimschicht durch Schütteln mit Glassplittern. Hierbei zeigte sich, dass die Einwirkuug des Wassers in Folge der Ritzung der Samenhaut viel schneller erfolgte und schon nach 36 Stunden das Maximum erreicht hatte. In Betreff der Keimung trat die auffallende Erscheinung zu Tage, dass das Würzelchen nach dem Austritt aus dem Samen sich spiralig hin und her wand, da der Same der Klebkraft des Schleimes entbehrend im Boden keine Befestigung fand. Nach zwei bis drei Tagen war indessen diese Keimungsverzögerung wieder eingeholt, und die jungen Pflänzchen wurden normal entwickelt.

2. Lupinus angustifolius.

Jede Zelle aller Gewebetheile des Samens enthält zahlreiche, durch gegenseitigen Druck unregelmässig eckige, oft auch gelappte Aleuronkörner. Die meisten erreichen einen Durchmesser von 7,5 Mik., die kleinsten nur 1,5 Mik., die grössten dagegen 12 Mik. Die Oberfläche der immer scharf sichtbaren Hüllmembran zeigt häufig Schattirungen, welche aber bei der Betrachtung in Wasser alsbald verschwinden. Die Grundsubstanz ist fast homogen und wird von Wasser sehr leicht angegriffen. Durch die Einwirkung des Wassers bildet sich in jedem Aleuronkorn ein heller kreisförmiger Raum, welcher an Grösse zunimmt und häufig diejenige des Kornes

erreicht. Diese sogenannte Vacuole, welche auch für ein Globoid gehalten worden ist, ist jedoch kein leerer Raum, sondern enthält die durch Wasser in Lösung übergeführte Grundsubstanz. Jodjodkalium färbt die Vacuole ebenso wie den übrigen Theil der Grundsubstanz. Die in der Randpartie gelegenen, sehr kleinen Aleuronkörner sind einschlussfrei. Die übrigen enthalten entweder ein excentrisch gelegenes Globoid von 2—3 Mik. Durchmesser oder meistens sehr viele, ausserordentlich kleine Globoide. Eine grosse Anzahl der in den mittleren Zellpartieen der Cotylen befindlichen Aleuronkörner ist ebenfalls einschlussfrei.

Nach 12stündigem Einquellen hatten die Samen ihr Volumen fast um das Dreifache vermehrt, auch die Aleuronkörner waren stark gequollen und hatten durchweg Kugelgestalt angenommen. Ihr Verhalten gegen Wasser, Kalkwasser und phosphorsaures Natron war unverändert. Nach dem Aussäen auf feuchtem Flugsand waren sämmtliche Samen gekeimt.

Nach 24stündigem Einquellen war ein Beginn der Keimung schon dadurch bemerkbar, dass bei vielen Samen die Spitze der Radicula bereits sichtbar war, bei anderen wenigstens nach dem Ablösen der Samenhaut eine Entwickelung zeigte. Bei den Aleuronkörnern der Randpartie trat die Kugelgestalt nun noch mehr hervor, die Spannung der Membran war stärker und letztere so durchsichtig geworden, dass die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz deutlich zu sehen war. In vielen Zellen der inneren Schichten, namentlich in der Umgebung der Radicula und in der Radicula selbst, hatte bereits eine Lösung der Grundsubstanz stattgefunden, die Umrisse der Membran waren nur noch sehr schwach sichtbar, viele kleine Globoide sogar schon frei im Zellinhalt liegend.

Die Samen keimten normal.

Nach dreitägigem Einquellen wurden nun die Samen durch längeres Liegen an der Luft vollständig getrocknet, wodurch sie ihre frühere Gestalt wieder erhielten. Auch die Aleuronkörner wurden auf ihr früheres Volumen reducirt, allein die eigenthümlich durchsichtige Beschaffenheit der Grundsubstanz blieb unverändert bestehen, auch die Form behielt die erhaltene Abrundung bei. In denjenigen Zellen, deren Aleuronkörner vorher vollständig gelöst zu sein schienen, konnte man nun aber deutlich einen, wenn auch nur schwachen

Umriss der früheren Membranen erblicken. Die Aleuronkörner waren also noch nicht vollständig gelöst, sondern nur durch enorme Wasseraufnahme stark gequollen und dadurch wenig gegen den Zellinhalt differenzirt.

In den wieder eingequollenen Samen zeigten die Aleuronkörner nun aber eine tiefgreifende Deformation. Nur in der Randpartie waren noch einige in gequollenem Zustande von kugeliger Gestalt vorhanden, in allen übrigen Zellschichten waren sie entweder gelöst oder von einer grossen Vacuole bedeckt. Hin und wieder konnte man ein Globoid im Zellinhalte wahrnehmen.

Nach dem vollständigen Trocknen kehrten die gequollenen Zellwände nicht mehr auf ihre normalen Dimensionen zurück, die Aleuronkörner zeigten sich auch kaum verändert; selbst die gequollenen der Randpartie waren in diesem Zustand verblieben. Die Samen keimten nach dem Aussäen auf feuchten Flugsand sämmtlich, allein das hypocotyle Glied wurde nicht mehr in normaler Länge entwickelt, und die Pflänzchen starben frühzeitig ab.

Mit einer Anzahl von Samen wurde das Einquellen noch weiter fortgesetzt. Die Samen zeigten aber hierdurch nicht nur einen Zerfall der äusseren Samenhaut und eine Zerstörung der peripherischen Zellschichten der Cotylen, sondern auch ein Zurückgehen der Radicula. Die Aleuronkörner waren sämmtlich gelöst.

Die auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten nicht mehr.

3. Foeniculum officinale.

Die Aleuronkörner der Fenchelfrucht zeigen den charakteristischen Umbelliferentypus. Die Zellen des Endosperms enthalten theils globoid-, theils krystallführende Aleuronkörner, von denen die meisten 4,5—5,0 Mik., die kleinsten 1,0—1,5 Mik., die grössten 9 Mik. im Durchmesser erreichen. Die Aleuronkörner des Embryos zeichnen sich durch ausserordentliche Kleinheit aus. Die strenge Localisirung tritt scharf hervor. Die krystallführenden Aleuronkörner überwiegen die globoidführenden um ein Bedeutendes. Letztere sind in den centralen Zellpartieen des Endosperms nur spärlich, in den Randpartieen dagegen häufiger vorhanden. Die Globoide und Krystalle erreichen einen Durchmesser von 3 Mik., es finden sich indessen

auch solche von nur 1—2 Mik. Durchmesser. Vor den Aleuronkörnern der übrigen Umbelliferen zeichnen sich diejenigen des Fenchels dadurch aus, dass ihnen eine Grundsubstanz niemals fehlt, die Globoide niemals Krystalle als Einschlüsse enthalten, und dass weder frei im Zellinhalt liegende Krystalle, noch Aleuronkörner mit Krystalloiden vorhanden sind.

Jodjodkalium löst die Grundsubstanz leicht, Wasser dieselbe zwar langsam, aber vollständig.

Nach 12stündigem Einquellen war die Grundsubstanz der Aleuronkörner der Randpartie gelöst, schon bei der Beobachtung in Oel traten nun die frei gewordenen Globoide und Krystalle scharf hervor. Die übrigen Aleuronkörner waren zwar etwas gequollen, sonst aber unverändert. Die Samen waren zu 60 % keimfähig.

Nach 24stündigem Einquellen hatte sich die Lösung der Grundsubstanz über sämmtliche Aleuronkörner erstreckt, ja sogar die Hüllmembran war bei vielen nur schwer aufzufinden.

Die Globoide erschienen viel durchsichtiger, und die Krystalle hatten nicht nur ihren Proteïnkern eingebüsst, sondern auch die zwischen die Spalten eingedrungene Grundsubstanz war herausgelöst, so dass hier und da ein Krystall zerfallen war. Krystalle und Globoide lagen nun sämmtlich frei im körnigen Zellinhalt. Die Abscheidung der Oeltröpfchen vollzog sich bei den in Wasser liegenden Schnitten derartiger Samen viel schneller als bei solchen nicht gequollener Samen. Durch andauerndes Trocknen wurde die Grundsubstanz niemals zurückgebildet, nur hier und da wurde eine nicht gelöste Membran wieder sichtbar. Die Samen keimten zu 30 %, aber erst mehrere Tage später als die nicht gequollenen.

Durch dreitägiges Einquellen war eine weitere Veränderung der Einschlüsse nicht zu constatiren, Globoide und Krystalle waren durch Wasser nicht mehr angreifbar. Nach dem vollständigen Trocknen der Samen lagen die Einschlüsse frei im Zellinhalt. Grundsubstanz und Membran wurden niemals zurückgebildet. Bei sämmtlichen Samen war die Keimkraft erloschen.

4. Daucus Carota.

Die Aleuronkörner der Mohrrübenfrucht sind zu mehreren in jeder Zelle vorhanden und zeigen ebenfalls eine strenge Localisirung

(Taf. III, Fig. 14). Auch hier sind die krystallführenden Körner in überwiegender Anzahl vorhanden und die globoidführenden zum grössten Theil auf die Randpartie der Mericarpien beschränkt. Die Grundsubstanz beider Arten von Aleuronkörnern ist sehr spärlich entwickelt. Die meisten Aleuronkörner haben 3 Mik., die kleinsten nur 2 Mik., die grössten 5 Mik. im Durchmesser. Zwei bis drei Aleuronkörner ragen in jeder Zelle durch Grösse hervor. — Neben den Aleuronkörnern aber finden sich grosse, morgensternförmige Krystalldrusen von oxalsaurem Kalk mit schön ausgebildetem Proteïnkern und deutlicher Strahlenbildung. Eine Grundsubstanz ist bei diesen Krystallen nicht vorhanden; sie erreichen einen Durchmesser von 7,5 Mik. Zuweilen finden sich auch schön ausgebildete Rhomboëder von oxalsaurem Kalk, welche eine gleiche Grösse besitzen. Als besondere Eigenthümlichkeit der Aleuronkörner der Mohrrübenfrucht verdient hervorgehoben zu werden, dass viele Globoide noch Krystalle von oxalsaurem Kalk als Einschlüsse enthalten, diese Frucht also durch einen grossen Reichthum an oxalsaurem Kalk ausgezeichnet ist. Die Aleuronkörner aus den Früchten der wildwachsenden Pflanze unterscheiden sich dadurch von denen der cultivirten, dass bei ihnen die Grundsubstanz viel stärker entwickelt ist, und die freiliegenden Krystalle nicht in so grosser Anzahl vorhanden sind. — Die Grundsubstanz wird von Wasser sehr schnell gelöst.

Ein 12stündiges Einquellen genügte, um die Grundsubstanz fast sämmtlicher Aleuronkörner zu lösen, vermochte aber nicht irgend welche Einwirkung auf Krystalle oder Globoide hervorzubringen. Die Samen waren zu 90 Procent keimfähig.

Nach 24stündigem Einquellen hatten alle Krystalle ihren Proteïnkern eingebüsst und besassen nun ein hellleuchtendes centrales Loch. Viele Globoide zeigten concentrische Schichtung, und diejenigen, welche einen Krystall als Einschluss enthielten, hatten eine grössere Durchsichtigkeit erlangt, so dass der Krystall, welcher sonst erst beim Behandeln mit einer gesättigten Lösung von Natriumphosphat sichtbar wurde, schon beim Einlegen der Schnitte in Wasser hervortrat. — Die Samen waren zu 70 Procent gekeimt und entwickelten in derselben Zeit wie die nicht gequollenen das Keimpflänzchen.

Ein drei- bis viertägiges Einquellen brachte auf die Aleuron-

körner keine weitere Einwirkung hervor. Die Samen keimten noch zu 50 Procent. Die getrockneten und wiedereingequollenen hatten indessen ihre Keimkraft verloren.

5. Carum Carvi.

Auch bei den unregelmässig-kugeligen, zu mehreren in einer Zelle vorhandenen Aleuronkörnern der Mericarpien von Carum Carvi ist eine strenge Localisirung durchgeführt. Beide Arten von Aleuronkörnern sind indessen in gleicher Anzahl vorhanden, und es erreichen die meisten 3 Mik., die kleinsten 1 Mik. und die grössten 5 Mik. im Durchmesser (Taf. III, Fig. 11).

Die Grundsubstanz ist überall sehr deutlich entwickelt und wird von Wasser in kurzer Zeit gelöst.

Schon nach 12stündigem Einquellen nimmt die Durchsichtigkeit der Grundsubstanz derartig zu, dass auch beim Beobachten der Schnitte in Oel eine scharfe Differenzirung derselben gegen Globoid bezw. Krystall hervortritt.

Die Samen keimten zu 90 Procent.

Nach 24stündigem Einquellen findet sich schon hier und da in der Randpartie der Mericarpien ein freiliegender, von der Hüllmasse entblösster Krystall, dessen Proteïnkern aber noch intact ist. Die Conturen der Hüllmembran sind nur sehr schwach sichtbar. Bei den globoidführenden Aleuronkörnern war die Grundsubstanz noch vorhanden. Von den Samen keimten 90 Procent, und zwar entwickelten sich die Keimpflänzchen einen Tag früher als die nur zwölf Stunden gequollenen.

Nach dreitägigem Einquellen waren die Aleuronkörner der innersten Schichten der Mericarpien ausser der Durchsichtigkeit ihrer Grundsubstanz unverändert. Von den übrigen waren die krystallführenden vollständig ihrer Grundsubstanz und ihrer Membran beraubt, so dass die Krystalle, deren Proteïnkern herausgelöst war, frei im Zellinhalt lagen. Bei den globoidführenden war die Membran noch erhalten und lag wie ein Ring um den mattgrauen Kern. Hin und wieder fand sich auch ein im Zellinhalt liegendes Globoid.

Durch anhaltendes, vollständiges Trocknen wurde die ursprüngliche Gestalt der Aleuronkörner nicht wieder hergestellt.

Von den auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten 30 Procent.

Nach dem Wiedereinquellen der vollständig getrockneten Samen war die Membran der vorher unveränderten Aleuronkörner der Randpartie blasig aufgetrieben, die Globoide zeigten concentrische Schichtung, die Krystalle waren zum grossen Theil zerfallen.

Derartig behandelte Samen keimten nicht mehr.

6. Cucurbita Pepo.

Die Aleuronkörner des Kürbissamens sind zahlreich in jeder Zelle vorhanden. Sie besitzen eine fast regelmässige Kugelgestalt und erreichen eine Grösse von 4 Mik., die meisten indessen nur eine solche von 3 Mik. und die kleinsten nur 1 Mik. Die sehr zarte Membran umschliesst ein kugeliges homogenes Krystalloid, um welches zahlreiche, nur 1—1,5 Mik. grosse Globoide halbmondförmig gelagert sind. In der äussersten Zellreihe der Randpartie der Cotylen und in den Procambiumsträngen finden sich ausserordentlich kleine Aleuronkörner ohne Einschlüsse. Die sehr spärlich vorhandene Grundsubstanz ist gegen Wasser wenig widerstandsfähig.

Ein 6—12stündiges Einquellen selbst solcher Samen mit theilweise entfernter Schale brachte auf die Aleuronkörner keine Einwirkung hervor.

Erst nach 24stündigem Einquellen waren auch die Aleuronkörner gequollen, sonst aber noch völlig intact.

Auf feuchten Flugsand ausgesät keimten sämmtliche Samen.

Auch nach dreitägigem Einquellen waren die Aleuronkörner unverändert. Nur in der Region der bereits stark entwickelten Radicula war eine Deformation eingetreten. In successiven Schnitten durch diese Zellschichten waren alle Stadien der Lösung zu beobachten. Die entfernter liegenden waren bereits der Membran entkleidet, die Grundsubstanz war gelöst, Krystalloide und Globoide frei im körnigen Zellinhalt. Die der Radicula näher liegenden Aleuronkörner zeigten keinen Zusammenhang ihrer Einschlüsse mehr, ihre Krystalloide waren mit schwacher concentrischer Schichtung versehen. In der Radicula selbst und in den sie umgebenden

Schichten war bereits vollständige Lösung der Aleuronkörner eingetreten.

Durch ein vollständiges Trocknen der Samen wurde nun wohl die Keimung unterbrochen, aber die bereits in Lösung befindlichen Aleuronkörner nicht wieder in den ursprünglichen Zustand zurückgeführt.

Wurden die Samen nun wiederum in Wasser gelegt und alsdann ausgesät, so zeigte es sich, dass der Keimungsprocess nun viel später eintrat. Die Radicula blieb klein und entwickelte schon frühzeitig Nebenwurzeln. Die meisten dieser Pflänzchen gingen indessen nach kurzer Zeit ein; nur 10 Procent der Samen entwickelten sich zu lebensfähigen Keimpflänzchen. Bei den Aleuronkörnern solcher Samen, deren Keimkraft nach kurzer Zeit erloschen war, bemerkte ich kein Fortschreiten der Lösung. Die in Lösung befindlichen und bereits theilweise gelösten waren auf eine verhältnissmässig kleine Region beschränkt; alle übrigen, welche die Zellen der mächtigen Keimblätter erfüllten, waren unversehrt erhalten.

Setzt man nun das Einquellen der Samen noch länger fort, so beginnt alsbald durch Gährungsprocesse ein völliger Zerfall der Samen, womit dann allerdings die Grenze des Versuchs erreicht ist.

7. Ricinus communis.

Die Aleuronkörner der Ricinussamen gehören wohl zu denjenigen, welche bisher am meisten und eingehendsten untersucht worden sind. Durch ihre hervorragende Grösse, durch die Schönheit ihrer Krystalloide haben sie seit langem die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gelenkt. Eine ausführliche Beschreibung ihrer Zusammensetzung hat Pfeffer in seiner oft citirten Arbeit über die Proteïnkörner geliefert.

Wir finden in den meisten Zellen des grossen Endosperms 3—5, selten mehr Aleuronkörner, welche nach dem Euphorbiaceentypus (vergl. p. 30 ff.) gebaut sind. Sie besitzen entweder eine ellipsoidische oder eine mehr sich der Kugelform nähernde Gestalt, und es erreichen die meisten 8—10 Mik., die kleinsten 1—2 Mik., die grössten oft über 15 Mik. im Durchmesser. — Die Krystalloide sind von homogener Beschaffenheit und zeigen die Form regel-

mässiger Rhomboëder, Octaëder etc. Ihr Durchmesser beträgt 7,5 bis 10 Mik., oft aber auch nur 3—5 Mik. Die Lagerung der Globoide zu den Krystalloiden ist durch mannigfaltige Abwechselung ausgezeichnet. Gewöhnlich finden wir 1—2 Krystalloide von einem Halbkreis von Globoiden umgeben. Von letzteren ist das mittelste das grösste, die andern nehmen allmählich nach rechts und links an Grösse ab. Der Durchmesser der Globoide beträgt 3—4 Mik., bei den kleinsten indessen nur 1—2 Mik.

Die sehr kleinen Aleuronkörner der Randpartie des Endosperms enthalten nur ein Krystalloid als Einschluss, die ebenfalls nur 1—2 Mik. grossen der Radicula und der Cotylen jedoch beiderlei Einschlüsse. Niemals sind in den Aleuronkörnern von Ricinus Krystalle von oxalsaurem Kalk vorhanden. — In der meist von Pilzhyphen durchwucherten Caruncula finden sich keine Aleuronkörner, sondern in den meisten Zellen kleine rundliche Körnchen von Amylodextrin.

Nach 12stündigem Einquellen der Samen war der Zellinhalt trübe und emulsionsartig geworden. Die Aleuronkörner zeigten jetzt eine glatte Oberfläche und hatten sich mehr der Kugelgestalt genähert. Das Verhalten der Grundsubstanz gegen Wasser war unverändert.

Es keimten 80 Procent der Samen.

Nach 24stündigem Einquellen hatten die Aleuronkörner ihr Volumen noch mehr vergrössert. Es hatten jetzt die meisten einen Durchmesser von 15 Mik. Die Hüllmembran war nun in Folge der stark gequollenen Grundsubstanz straff gespannt. Letztere war gegen Wasser nun ausserordentlich empfindlich und war darin ebenso wie die Membran fast momentan löslich, so dass man bei der directen Beobachtung der Schnitte in Wasser zu der Annahme gelangen konnte, sie sei überhaupt nicht mehr vorhanden gewesen. Die in absolutem Alkohol macerirten und dann in Oel betrachteten Schnitte zeigten jedoch das wahre Bild der eingetretenen Veränderungen. Durch das Einlegen der Samen in Wasser war die Grundsubstanz so durchsichtig geworden, dass nun auch die Krystalloide in Oel sichtbar wurden. — Anders verhielten sich die Aleuronkörner in der Umgebung der Radicula. Hier waren bereits alle Stadien der Lösung

eingetreten, ein sicheres Anzeichen, dass der Keimungsprocess bereits begonnen hatte.

Von diesen Samen keimten nur noch 50 Procent.

Nach einem drei- bis viertägigen Einquellen war nun aber, von aussen nach innen fortschreitend, im Endosperm eine Zerstörung der Aleuronkörner sichtbar. Hüllmembran und bei den meisten auch die Grundsubstanz waren gelöst, zahlreiche Krystalloide und Globoide befanden sich frei im Zellinhalt. In dem überwiegenden centralen Theil des Endosperms waren die Aleuronkörner nur gequollen, sonst unversehrt. Ein directes Betrachten der Schnitte in Oel stellte dies unzweifelhaft fest.

Die so behandelten Samen, deren Aleuronkörner in der Randpartie des Endosperms zum Theil in Lösung übergegangen waren, hatten ihre Keimfähigkeit verloren.

8. Linum usitatissimum.

Die den Bau des Euphorbiaceentypus (vergl. p. 30) zeigenden Aleuronkörner des Leinsamens sind in dem hier nur kleinen Endosperm und den Cotylen in jeder Zelle zu 2—5 enthalten. Dieselben erreichen einen Längsdurchmesser von 10 Mik., die grössten sogar 15 Mik., während die kleinsten nur eine Länge von 1—2 Mik. besitzen. Ihre Gestalt ist länglich keilförmig, an der einen Spitze abgerundet, an der andern kantig, von der Form der Einschlüsse bedingt. Die Oberfläche des Kornes ist nur wenig höckerig. Hüllmembran und Grundsubstanz sind deutlich sichtbar (Taf. II, Fig. 1). Letztere wird leicht von Wasser gelöst. Jedes Korn enthält nur ein Krystalloid, welches häufig durch eine Längsspalte in zwei symmetrische Hälften getheilt ist. Regelmässige Krystallformen sind selten, gewöhnlich sind Ecken und Kanten abgerundet. Sie sind von homogener Beschaffenheit, oft von Sprüngen und Rissen durchsetzt und erreichen meistens einen Durchmesser von 7,5 Mik. Das Globoid befindet sich gewöhnlich an der schmäleren Seite des Krystalloids und besitzt stets regelmässige Kugelform. Seine Membran ist häufig gefaltet, so dass es dann auf dem Querschnitt mit einem äusserst fein gezackten Umriss und fein punktirter Oberfläche erscheint. Die äusserste Zellreihe der Cotylen enthält rundliche

Aleuronkörner von 5 Mik. Durchmesser, welche mehrere kleine Krystalloide, aber keine Globoide enthalten. Die kleinen Körnchen, welche sich stets zahlreich als Begleiter der grossen in den Zellen vorfinden, sind nicht einschlussfrei, wie vielfach angegeben wird, sondern enthalten stets Globoid und Krystalloid, welche allerdings nur von einer sehr spärlichen Hüllsubstanz umschlossen werden. Auch in den Aleuronkörnern des Leinsamens finden wir niemals Krystalle von oxalsaurem Kalk.

Nach 12stündigem Einquellen waren die Samen von einer dichten Schleimhülle umgeben und stark gequollen. Die Aleuronkörner hatten ebenfalls durch die nun straff gespannte Membran ihr Volumen vergrössert. Eine Lösung der Grundsubstanz war jedoch nirgends eingetreten. Die auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten sämmtlich.

Nach 24stündigem Einquellen hatte sich die Form der Aleuronkörner mehr der Kugelgestalt genähert. Die Membran war gegen die Grundsubstanz scharf differenzirt und letztere in Wasser viel leichter löslich als solche nicht gequollener Samen. Die Faltungen der Globoidmembranen waren nun sehr deutlich sichtbar, so dass der helle, durchschimmernde Kern des Globoids wie corrodirt erschien. Die Samen waren noch sämmtlich keimfähig.

Selbst nach einem drei- bis viertägigen und noch länger andauerndem Einquellen war eine Aenderung der Aleuronkörner nicht zu constatiren. Nur solche Samen, deren Würzelchen bereits die Samenhaut durchbrochen hatte, zeigten im Endosperm alle Stadien der Lösung.

Die Keimkraft derartig behandelter Leinsamen hatte wenig gelitten. Es keimten noch 70 Procent.

Da der die Samen umgebende Schleim eine die Aleuronkörner vor weiterer Wasserwirkung schützende Hülle bildet, so stellte ich die Einquellungsversuche auch mit solchen Samen an, deren Schleimschicht durch anhaltendes Schütteln mit Glasperlen vollständig entfernt wurde.

Die Aleuronkörner entschleimter und dann gequollener Samen erreichten ihre Turgescenz in viel kürzerer Zeit als die nicht entschleimter Samen. Sonstige Verschiedenheiten konnte ich nach einem ein- bis zweitägigen Einquellen nicht bemerken. Nach drei-

tägigem Einquellen wurde in den in Wasser liegenden Schnitten nicht nur die Membran und Grundsubstanz schnell gelöst, sondern nach längerem Liegen wurde auch bei vielen Krystalloiden ein gewisser Theil von aussen abgelöst. Bei vielen ging auch der centrale Theil in Lösung über, so dass das Krystalloid nur noch die Form eines breiten Ringes besass. Vollständig waren die Krystalloide selbst nach mehrwöchentlichem Einlegen der Schnitte in Wasser nicht in Lösung zu bringen. Auch die Globoide erlitten, wenn auch erst nach einiger Zeit, eine Veränderung, welche sich durch Trübung ihrer Masse bemerkbar machte, eine Lösung war indessen niemals zu beobachten.

Einen viel grösseren Einfluss hatte die Entfernung des Schleimes auf die Keimung selbst. Die krankhafte Nutation der Würzelchen solcher Samen beweist, dass es die hauptsächlichste Bestimmung der Schleimschicht ist, den Samen im Boden festzuhalten.

Ein deutliches Bild von dem verschiedenen Verhalten entschleimter und unverletzter Samen bei der Keimung möge die Aufzeichnung zweier Parallelversuche geben, welche ich aus einer ganzen Reihe übereinstimmender Versuche ausgewählt habe:

Versuch A.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen und dann in einem mit feuchtem Flugsand gefüllten, mit einer Glasglocke bedeckten Blumentopfe zur Aussaat gebracht.

Nach 24 Stunden.

20 Samen hatten ein 2—3 mm langes Würzelchen entwickelt.

Nach 2 Tagen.

80 Samen gekeimt, Würzelchen 1—1,5 cm lang, gerade.

Versuch B.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen und dann durch Schütteln mit Glasperlen in einem kleinen Fläschchen entschleimt. Sie wurden dann wie bei Versuch A ausgesät.

Nach 24 Stunden.

15 Samen hatten ein 2—3 mm langes Würzelchen entwickelt.

Nach 2 Tagen.

80 Samen gekeimt, Würzelchen 1—1,5 cm lang, hin und her gekrümmt.

Nach 3 Tagen.

95 Samen gekeimt, bei 20 die Cotylen sichtbar, die Samenhaut abgestreift. Würzelchen 2 cm lang.

Nach 4 Tagen.

30 Samen mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 2 cm, Würzelchen 3 cm lang (Taf. IV, Fig. 12, A).[1]).

Nach 5 Tagen.

50 Pflänzchen aufrecht mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 3 cm lang, bei einigen das Knöspchen sichtbar.

Nach 7 Tagen.

Die Pflänzchen bilden einen dichten Rasen und sind kräftig entwickelt. Wurzeln überall in den Boden eingedrungen, Cotylen straff ausgebreitet. Das erste Stengelglied beginnt sich zu entwickeln.

Nach 3 Tagen.

Die Krümmungen der Würzelchen der gekeimten Samen haben zugenommen, längstes Würzelchen 1,5 cm.

Nach 4 Tagen.

Bei 5 Samen die Cotylen schwach sichtbar, die übrigen mit 3 cm langen, spiralig gewundenen Würzelchen (Taf. IV, Fig. 12, B).

Nach 5 Tagen.

4 Pflänzchen aufrecht mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 1,5 cm lang, bei den übrigen die Cotylen schwach sichtbar.

Nach 7 Tagen.

15 Pflänzchen aufrecht; die Würzelchen der übrigen sind entweder dicht am Samen spiralig gewunden, oder bedecken in krankhaften Nutationen begriffen den Boden, hier und da Adventivwurzeln bildend und den Samen emporhebend.

Nach 12 Tagen.

80 Pflänzchen sind nun entwickelt, hypocotyles Glied jedoch nur 3,5—4 cm lang.

Auch das Bedecken der entschleimten Samen mit einer dünnen Sandschicht vermag den Schleim nicht zu ersetzen. Zwei in dieser Richtung angestellte Versuche mögen dies näher erläutern:

---

1) Herr Dr. A. Tschirch hatte die Liebenswürdigkeit, eine photographische Aufnahme dieser Versuchsstadien zu machen, welche auf Taf. IV, Fig. 12 reproducirt worden ist.

Versuch C.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen, dann wie bei Versuch A ausgesät und mit einer dünnen Sandschicht bedeckt.

Nach 2 Tagen.

60 Samen sichtbar gekeimt, von allen nur das gebogene hypocotyle Glied sichtbar.

Nach 3 Tagen.

95 Pflänzchen aufrecht mit ausgebreiteten Cotylen, hypocotyles Glied 3 cm lang.

Nach 4 Tagen.

Hypocotyles Glied 3,5 cm lang.

Nach 5 Tagen.

Hypocotyles Glied 4,5 cm lang.

Nach 15 Tagen.

Höhe der kräftig entwickelten Pflänzchen 10 cm, einen dichten Rasen bildend.

Versuch D.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen, entschleimt und wie bei Versuch C mit einer dünnen Sandschicht bedeckt ausgesät.

Nach 2 Tagen.

26 Samen sichtbar gekeimt, Samen aus der Sandschicht emporgehoben.

Nach 3 Tagen.

4 Pflänzchen aufrecht, hypocotyles Glied 1 cm lang.

Nach 4 Tagen.

21 Pflänzchen aufrecht, hypocotyles Glied 2,5 cm lang.

Nach 5 Tagen.

Bei 30 Pflänzchen hypocotyles Glied 3 cm lang.

Nach 15 Tagen.

Höhe der 60 entwickelten Pflänzchen 6,5 cm.

Nach 24 Tagen.

Höhe der 85 entwickelten Pflänzchen 10 cm, einen dichten Rasen bildend.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse der Wasserwirkung auf die Aleuronkörner der ruhenden Samen der Versuchspflanzen habe ich in der Tabelle auf p. 50 und 51 übersichtlich zusammengestellt.

Im Allgemeinen lässt sich bemerken, dass die Aleuronkörner

der verschiedenen Samen sich gegen Wasser ausserordentlich verschieden verhalten. Eine ganze oder theilweise Lösung des Aleuronkornes kann chemisch und durch den Effect der Keimthätigkeit erfolgen, oder durch beide Momente zugleich hervorgebracht werden. In allen Fällen kann die erste Regung der Keimthätigkeit des Samens anatomisch auch durch das Vorhandensein von Lösungsstadien, welche man namentlich in der Umgebung der Radicula zu suchen hat, festgestellt werden, noch lange bevor äusserlich irgend welche Anzeichen auf die beginnende Keimung schliessen lassen. Durch Wasser, ohne Mitwirkung der Keimthätigkeit angreifbar, sind namentlich die Aleuronkörner peripherischer Zellschichten, welche zum grössten Theil aus Grundsubstanz bestehen und kleine Globoide als Einschlüsse enthalten. Die Keimkraft solcher Samen, deren Aleuronkörner theilweise in Lösung übergegangen sind, hat nicht wesentlich gelitten. Das diese Aleuronkörner umhüllende Plasmanetz ist sehr widerstandsfähig und selbst nach mehrtägiger Wasserwirkung unverändert. — Die Aleuronkörner der Umbelliferen sind gegen Wasser ausserordentlich empfindlich. Es gelingt schon nach kurzer Zeit, die Grundsubstanz und Hüllmembran zu lösen. Da die beständigen Krystalle von oxalsaurem Kalk, welche in diesen Samen in grosser Menge vorkommen, kein Reservematerial zu bilden scheinen, die Globoide allein aber nicht hinreichend sind, die zum Wachsthum der Keimpflanze nöthigen Stoffe zu liefern, so mag es vielleicht mit dieser leichten Auflösung der Aleuronkörner zusammenhängen, dass schon nach verhältnissmässig kurzem Einquellen die Keimkraft der Umbelliferen erloschen ist.

Die Aleuronkörner, welche Krystalloide als Einschlüsse führen, sind ausserordentlich schwer angreifbar. Erst mit dem Erlöschen der Keimkraft gelingt es, die Membran und Grundsubstanz der Aleuronkörner der Randpartieen zu lösen. Aber selbst wenn es möglich wäre, die Keimthätigkeit trotz lange andauerndem Einquellen zu erhalten und durch Einwirkung des Wassers die Grundsubstanz zu lösen, so würde nur eine geringe Menge des Reservematerials verloren gehen, Krystalloide und die stets mit ihnen vergesellschaftet vorkommenden Globoide sind in Wasser niemals vollständig löslich und bleiben dem Samen erhalten. — Aus den voraufgegangenen Beobachtungen können wir also den Schluss ziehen, dass die

Tabellarische

der Einwirkung des Wassers auf die Aleuron-

Anlage

Name der Versuchspflanze	Nach 12stündig. Einquellen				Nach 24stündig. Einquellen			
	Grundsubstanz	Krystalloid	Globoid	es keimten	Grundsubstanz	Krystalloid	Globoid	es keimten
Sinapis alba	Aleuronkörner gequollen			95 %	durchsichtig	—	in Oel sichtbar	95 %
Lupinus angustifolius	Aleuronkörner gequollen			100 %	granulirt	—	sehr wenige frei im Zellinhalt	90 %
Foeniculum officinale	bei denen der Randpartie gelöst	—	freiliegend	60 %	bei fast allen gelöst	—	und Krystalle freiliegend	30 %
Daucus Carota	„	—	„	90 %	„	—	Proteïnkern der Krystalle gelöst	70 %
Carum Carvi	„	—	„	90 %	nur die der Randpartie gelöst	—	Grundsub. um Globoide länger erhalten	90 %
Cucurbita Pepo	Aleuronkörner unverändert			100 %	Aleuronkörner gequollen			100 %
Ricinus communis	Aleuronkörner gequollen			80 %	gequollen	unverändert	unverändert	80 %
Linum usitatissimum	Aleuronkörner gequollen			100 %	„	„	Faltung der Membran vermehrt	100 %
Linum usitatissimum entschleimt	Aleuronkörner stark gequollen			100 %	„	schwache Lösungserscheinungen	getrübt	90 %

Uebersicht

körner des ruhenden Samens einiger Pflanzen.

zu p. 48 ff.

Nach 48stündig. Einquellen				Nach 3tägigem Einquellen				Theilweise gelöst waren die Aleuronkörner in den peripherischen Schichten		
Grundsubstanz	Krystalloid	Globoid	es keimten	Grundsubstanz	Krystalloid	Globoid	es keimten	schon vor Beginn d. Keimung	erst nach Beginn d. Keimung	es keimten nach dieser Zeit
zum Theil gelöst	—	frei im Zellinhalt	80 %	Durchsichtigkeit erhöht	—	—	80 %	nach achttägigem Einquellen	sofort	50 %
bei vielen in Lösung begriffen	—	in Oel sichtbar	90 %	Vacuolen zeigend	—	frei im Zellinhalt	80 %	nach 6tägigem Einquellen	sofort	60 % die Pflänzchen gingen frühzeitig zu Grunde
—	—	—	—	—	—	und Krystalle unverändert	0	nach 2tägigem Einquellen	sofort	0
—	—	—	—	—	—	„	50 %	nach 4tägigem Einquellen	sofort	0
durchsichtig	—	—	—	bei fast allen gelöst	—	„	30 %	nach 3tägigem Einquellen	sofort	0
durchsichtig	unverändert	unverändert	100 %	in der Region der Radicula alle Stadien der Lösung			10 %	—	nach 3tägigem Einquellen	10 %
„	unverändert	unverändert	80 %	„			80 %	—	nach 4tägigem Einquellen	0
„	„	„	—	„			70 %	—	nach 8tägigem Einquellen	30 %
—	—	—	—	„			60 %	—	nach 6tägigem Einquellen	30 %

Aleuronkörner mit allen ihren Einschlüssen und der Grundsubstanz im ungelösten Zustande zum Wachsthum des Keimpflänzchens unbedingt erforderlich sind, und dass ferner eine wirklich vollständige Lösung der Aleuronkörner erst in demjenigen späteren Zeitpunkte stattfindet, wo wahrscheinlich die ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings eingetreten sind.

IV.

Entwickelung der Aleuronkörner beim Reifen der Samen.

Da die Aleuronkörner im reifenden Samen unmittelbar nach dem Verschwinden der transitorischen Stärke entstehen, so stellten einige Autoren die Ansicht auf, dass sie aus den Stärkekörnern, vielleicht auch aus den Chlorophyllkörnern hervorgehen sollten. Pfeffer hat durch seine genauen Versuche diese irrige Annahme widerlegt und festgestellt, dass die Aleuronkörner im letzten Reifestadium als durchaus selbstständige Körper frei im Zellsaft entstehen und niemals Uebergangsproducte anders geformter Stoffe sein können. Bezüglich der Art und Weise ihres Entstehens ist auch die Behauptung von de Gris[1]), dass jedes Aleuronkorn in einer besonderen Vacuole gebildet würde, von Pfeffer entkräftet worden. Die Beweisführung Pfeffer's wurde indessen durch neuere Untersuchungen von Wakkers[2]) und Werminski[3]) angezweifelt. Beide Autoren haben gefunden, dass die Einschlüsse in besonderen Vacuolen gebildet werden. Werminski geht sogar noch einen Schritt weiter und theilt mit, dass es ihm gelungen sei, durch wasserentziehende Mittel in diesen Vacuolen die Bildung von Krystalloiden hervorzurufen und die bereits entstandenen zu vergrössern. Meine genau

1) Gris, Annales des scienc. nat. 1864, V. sér., t. II, pl. 39.

2) J. H. Wakkers, Aleuronkorrels zijn vacuolen. Ref. i. d. Bot. Centralbl. No. 12, Bd. 33, p. 361.

3) F. Werminski, Ueber die Natur der Aleuronkörner. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1888, p. 199.

nach den Angaben Werminski's angestellten Versuche lieferten jedoch das Ergebniss, dass der genannte Verfasser mehrfach von irrigen Beobachtungen ausgegangen ist. Ich verfolgte zunächst die Bildung der Aleuronkörner von

Ricinus communis.

In dem reifenden, schon mit einer harten, gefärbten Schale versehenen Ricinussamen sah ich, genau so wie es Pfeffer beschreibt, nach dem Verschwinden der transitorischen Stärke kleine Globoide und Krystalloide neben einander frei im Zellinhalt liegen. (Taf. II, Fig. 15.) Die die Beobachtung sehr erschwerende körnige Masse, welche die Zellen erfüllt, weicht zwar von den Einschlüssen etwas zurück, jedoch geschieht dies niemals in so ausgesprochenem Maasse, dass man einen derartigen, etwas helleren Raum, der niemals von irgend welcher Membran begrenzt wird, als eine Vacuole bezeichnen könnte. Gänzlich verfehlt ist ferner die Ansicht Werminski's, dass die Globoide erst zuletzt durch Austrocknen der Grundsubstanz entständen. Die Bildung der Globoide findet stets gleichzeitig mit derjenigen der Krystalloide statt. Allerdings sind sie in solchen Präparaten, welche die ersten Entwickelungsstadien der Aleuronkörner zeigen, wegen des trüben, körnigen Zellinhaltes sehr schwer sichtbar und können leicht übersehen werden. Durch successive Behandlung der Schnitte mit absolutem Alkohol und verdünnter Kalilauge ist aber ein Irrthum nicht mehr möglich. Man sieht nun, dass die Globoide im Verhältniss zum vorher vorhanden gewesenen rudimentären Krystalloid schon eine ansehnliche Grösse erreicht haben (Taf. II, Fig. 16). Ferner konnte ich den Versuch Werminski's, dass durch 24stündiges Einlegen der Schnitte in altes Citronenöl ein Wachsen der noch nicht völlig ausgebildeten Krystalloide oder sogar ein Entstehen derselben möglich sei, nicht bestätigen. Nach der Ansicht Werminski's soll dies durch die wasserentziehende Wirkung des Citronenöls hervorgebracht werden. Altes Citronenöl besitzt allerdings diese Eigenschaft, wirkt aber gleichzeitig, wahrscheinlich seiner schwach sauren Beschaffenheit wegen, lösend auf die Krystalloide ein, wie man sich durch Parallelversuche an Schnitten ruhender

Samen leicht überzeugen kann [1]). Jedoch muss ich der Ansicht Werminski's beipflichten, dass Citronenöl als Aufhellungsmittel die vorzüglichsten Dienste leistet.

Auch durch Aufbewahren der Samenfragmente im Exsiccator konnte ich ein Wachsthum der Krystalloide nicht beobachten, wohl aber die Bildung der Grundsubstanz um die Einschlüsse, eine Erscheinung, welche schon Pfeffer beschreibt. Derselbe sagt wörtlich [2]):

„Dass Wasserentziehung die Entstehung der Hüllmasse veranlasst, zeigen evident noch nicht völlig gereifte Samen, welche man nach Entfernung der Schale einige Stunden an der Luft austrocknen lässt. Denn nun findet man eine Hüllmasse, welche in dem Samen zuvor nicht vorhanden war, gebildet."

Zu den gleichen Ergebnissen führten die Versuche mit den reifenden Samen von

Linum usitatissimum.

Hier beginnt die Bildung der Aleuronkörner erst dann, wenn das Endosperm zu einem dünnen Häutchen reducirt ist, und die Cotylen ihre völlige Ausbildung erlangt haben. Man sieht dann neben Oeltröpfchen und Chlorophyllkörnern Globoide und Krystalloide frei im Zellinhalt, aber niemals in sogenannten Vacuolen liegen. Die Krystalloide bilden in ihren ersten Stadien fast viereckige Ringe, welche Sprünge und Risse zeigen, oft sogar an einer Stelle offen sind (Taf. II, Fig. 5). Die Krystallisation schreitet dann nach innen und aussen vor, bis das Krystalloid seine normale Grösse erlangt hat (Taf. II, Fig. 6). Auch bei diesen Samen gelingt es leicht, durch Austrocknen die Bildung der Grundsubstanz hervorzurufen.

Es ist also nur die Entstehung der letzteren ein chemisch-physikalischer Process, nicht aber, wie Werminski behauptet, auch die Entstehung der Krystalloide, Globoide und Krystalle. Diese Einschlüsse werden vielmehr durch die Lebensthätigkeit der Zelle gebildet.

---

1) Die saure Reaction alten Citronenöls lässt sich am einfachsten constatiren, wenn man in einem Porzellanschälchen einen Tropfen Kalkwasser mit einer Spur Phenolphthalein färbt und nun einen Tropfen Citronenöl hinzufügt, worauf alsbald Entfärbung eintritt. Frisches Citronenöl giebt diese Reaction nicht.

2) a. a. O. p. 518.

V.

Die Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen der Samen.

Schon am Schluss des Kapitels, welches von der Einwirkung des Wassers auf den ruhenden Samen handelt, ist hervorgehoben worden, dass das Auftreten von Lösungsstadien der Aleuronkörner und ihrer Einschlüsse zusammenfällt mit den Anzeichen der ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings. Durch den Beweis ferner, dass die Lösung der Krystalloide niemals durch Wasser allein erfolgen kann, sondern stets ein Effect der Keimthätigkeit ist, ist zwar die Ansicht Werminski's, dass auch die Lösung der Aleuronkörner ein rein chemisch-physikalischer Process sei, widerlegt. Um aber alle Zweifel zu heben, gebe ich in Folgendem das Ergebniss meiner Beobachtungen über das Verhalten der Aleuronkörner einiger keimenden Samen. Ich beginne mit Ricinus communis, an welchen Samen ja auch Werminski seine Studien gemacht hat.

1. Ricinus communis.

Noch lange bevor die äusserste Spitze des Würzelchens sichtbar ist, finden wir in den zarten Cotylen und der Radicula Auflösungsstadien der Aleuronkörner. Zu dieser Zeit sind die Zellen des Endosperms mit einer trüben Emulsion erfüllt, in welcher die Aleuronkörner als dunkle Massen sichtbar sind. Die Aufhellung dieser Schnitte ist allein durch Maceration derselben in absolutem Alkohol möglich. Sobald die Radicula hervortritt, und in ihren Zellen transitorische Stärke gebildet wird, ist auch die Lösung der Aleuronkörner in den Cotylen vollendet. Die einzelnen Stadien der Auflösung dieser kleinen Aleuronkörner lassen sich schwer übersehen, sind dagegen leicht bei den viel grösseren des Endosperms zu beobachten. — Sobald das Würzelchen eine Länge von 1 cm erreicht hat, zeigen uns successive Schnitte durch das Endosperm alle Stadien der in Auflösung begriffenen Aleuronkörner. Die Lösung derselben, von den inneren Theilen nach den peripherischen Zellschichten fortschreitend, beginnt damit, dass die Grundsubstanz die ihr dargebotene Feuchtigkeit begierig aufnimmt, wodurch sie auf-

quillt und die sie umgebende, vorher schlaff und faltig anliegende Membran spannt, so dass jedes Korn jetzt eine annähernde Kugelgestalt mit fast glatter Oberfläche erlangt hat (Taf. II, Fig. 11).

Die bizarren Formen der Aleuronkörner des ruhenden Samens mit ihren grubigen Vertiefungen sind verschwunden, wir meinen ganz andere Gebilde vor Augen zu haben. Betrachten wir nach dem Vorschlage Werminski's diese kugeligen Körper, welche derselbe Vacuolen nennt, in altem Citronenöl, so sieht man zunächst, dass sich die turgescente Membran scharf von der aus einem körnigen Detritus bestehenden Grundsubstanz differenzirt. Bald aber macht sich neben der wasserentziehenden, aufhellenden Wirkung des Citronenöls auch die auflösende bemerkbar, und alsbald erscheinen auch die deutlichen Umrisse der Einschlüsse. Bei der Beobachtung der vorher in Alkohol macerirten Schnitte in Wasser, welches allerdings die Grundsubstanz leicht löst, sind diese Verhältnisse viel besser zu übersehen. Krystalloide und Globoide liegen dann ohne Umhüllung vor uns und lassen etwaige Veränderungen leicht erkennen. — Der weitere Verlauf der Lösung hat auf die äussere Form keinen Einfluss. Innerhalb der Membran beginnen die Krystalloide langsam von aussen nach innen gleichmässig abzuschmelzen (Taf. II, Fig. 12a u. b). Von dieser Verkleinerung der Krystalloide kann man sich leicht durch Messungen überzeugen. Die Membran der Krystalloide konnte ich nur kurze Zeit wahrnehmen, während Pfeffer dieselbe bis zum Verschwinden des Kernes beobachtet hat. Dieser Kern zeigt scharfe Ecken und Kanten wie ein normales Krystalloid; er wird allmählich an die Wandung der Hüllmembran gedrängt und bleibt lange widerstandsfähig. — Solche Krystalloide, welche schon im ruhenden Samen Risse und Sprünge zeigten, zerfallen alsbald, und ihre schon abgeschmolzenen Fragmente sind noch einige Zeit sichtbar. Eine centrifugal erfolgende Lösung der Krystalloide konnte ich nur in einigen wenigen Fällen beobachten.

Legt man nun nach der Vorschrift Werminski's solche Samendurchschnitte, deren Aleuronkörner fast ganz gelöste Krystalloide enthalten, in altes Citronenöl oder bringt die Samenfragmente in den Exsiccator, so werden die Krystalloide weder auf ihre frühere Grösse gebracht, noch die ursprüngliche Form der Aleuronkörner wiederhergestellt, woraus evident hervorgeht, dass die Lösung der

Krystalloide innerhalb der Aleuronkörner nicht als ein rein physikalischer Vorgang aufzufassen ist. —

Hand in Hand mit der theilweisen Lösung der Krystalloide geht eine tiefgreifende Veränderung der Globoide vor sich. Der straffe, scharf umschriebene Rand wird schwach zackig, und die vorher homogene Masse nimmt eine körnige Beschaffenheit an (Taf. II, Fig. 12a). Bei einigen sind auch schwache concentrische Schichten bemerkbar.

Die mit solchen Aleuronkörnern ausgeführten Krystallisationsversuche blieben ebenfalls erfolglos.

Im weiteren Verlauf der Lösung nimmt die Grundsubstanz an Volumen zu und sprengt die Membran, um sich alsdann mit dem Zellinhalt zu vermischen. Die Hüllmembran wird ausserordentlich schnell gelöst, so dass man ihre Existenz nicht mehr wahrnehmen kann. Globoide und Krystalloide liegen nun unregelmässig zerstreut im Zellinhalt. Von beiden Einschlüssen gehen die Globoide zuerst in Lösung, die Krystalloide sind dann vom Zellinhalt umgeben, liegen aber niemals in sogenannten Vacuolen (Taf. II, Fig. 17). Sie zeigen nun sehr deutliche, concentrische Schichtung (Taf. II, Fig. 14) und gehen allmählich in Lösung über, eine granulöse Masse zurücklassend, welche dann auch schliesslich gelöst wird.

Die Lösung sämmtlicher Aleuronkörner ist vollendet, ehe die Keimblätter entfaltet sind.

Nachdem die Radicula eine Länge von 2—3 cm erreicht hatte, die Hauptmasse der Aleuronkörner des Endosperms also gelöst war, wurde die Keimthätigkeit durch Trockenlegen der Samen unterbrochen. Die Aleuronkörner zeigten in solchen vollständig getrockneten Samen eine unveränderliche Beschaffenheit. Die bereits theilweise gelösten Krystalloide erlangten niemals ihre normale Grösse, nur die noch nicht mit dem Zellinhalt vermischte Grundsubstanz wurde durch Wasserentziehung contrahirt, und die reguläre Kugelgestalt der gequollenen Körner ging verloren.

Das Verhalten der Aleuronkörner solcher Samen gegen Reagentien sowie ihre morphologische Beschaffenheit war genau ihren Auflösungsstadien entsprechend.

Einmal in ihrer Keimung unterbrochene Samen keimten nicht mehr, selbst wenn alle Bedingungen, welche die Keimung befördern, erfüllt waren.

2. Linum usitatissimum.

Im keimenden Leinsamen beginnt die Lösung der Aleuronkörner im Endosperm und erst, nachdem sie hier nahezu vollendet ist, in den Cotylen. Die Auflösung geht hier in folgender Weise vor sich.

Die Aleuronkörner nehmen durch starkes Aufquellen zunächst Kugelgestalt an. Da das Volumen einer Zelle oft nicht hinreicht, ihnen genügenden Raum zur Ausdehnung zu gewähren, so werden sie oft durch gegenseitigen Druck abgeplattet. Die Hüllmembran ist straff gespannt und sehr durchsichtig geworden, so dass man ohne weitere Hilfsmittel die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz erkennen kann (Taf. II, Fig. 4a). Die Löslichkeit der letzteren in Wasser hat derartig zugenommen, dass sie beim Betrachten der Schnitte in Wasser nach wenigen Augenblicken ebenso wie die Membran verschwunden ist. Aber auch die Krystalloide haben durch den Keimungsprocess bereits eine gewisse Umwandlung erfahren. Lässt man die Schnitte einige Tage in Wasser liegen, so bemerkt man, dass die Krystalloide meist von innen nach aussen bis auf einen breiten, gewöhnlich viereckigen, mit Querrissen versehenen Ring gelöst werden. Ja sogar bis zu einem Zerfall des letzteren kann die Lösung fortschreiten (Taf. II, Fig. 3a—e). Die Globoide sind am wenigsten verändert. Sie sind in Wasser unlöslich und nur nach längerem Verweilen in verdünnter Kalilauge nehmen sie concentrische Schichtung an.

Im weiteren Verlaufe der Keimung macht die Lösung der Aleuronkörner rapide Fortschritte. Während das Würzelchen schon kräftig entwickelt ist, die Samenhaut aber noch die Cotylen umschliesst, hat sich der Zellinhalt mehr und mehr getrübt. Er bildet eine körnige Masse, in welche die Aleuronkörner eingebettet sind. Noch ist die Hüllmembran derselben vorhanden, aber das Krystalloid ist schon theilweise innerhalb derselben gelöst. Diese Lösung erfolgt entweder von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten (Taf. II, Fig. 4c), oder von innen nach aussen, wobei

der dadurch entstehende Ring schliesslich in mehrere Fragmente zerfällt, die alsbald gelöst werden. Dass in der That die Krystalloide hier vor den Globoiden gelöst werden, lässt sich sehr leicht mit einer Lösung von Natriumphosphat nachweisen. Taf. II, Fig. 8 zeigt einige Zellen mit Aleuronkörnern, von denen nur einige gezeichnet wurden, vor der Behandlung, Fig. 9 nach der Behandlung mit Natriumphosphat. Es sind nur noch Globoide vorhanden, die Krystalloide dagegen längst in Lösung übergegangen.

Samenschnitte, welche die Aleuronkörner in diesem Lösungsstadium enthielten, habe ich tagelang in altem Citronenöl und solche Samenfragmente im Exsiccator aufbewahrt, ohne eine Neubildung der Krystalloide zu beobachten.

In diesem Keimungsstadium hat sowohl in der Radicula, als auch im hypocotylen Gliede eine reichliche Bildung transitorischer Stärke begonnen. Das Endosperm ist zu einem dünnen Häutchen zusammengefallen. In keinem dieser Organe ist Aleuron noch aufzufinden, nur in den Zellen der Cotylen, welche bereits zu ergrünen beginnen, sind Aleuronkörner in Lösungsstadien zu beobachten. Nachdem die Krystalloide gelöst sind, geht auch die Grundsubstanz und Membran sehr schnell in Lösung. Die Globoide sind nun unregelmässig im Zellinhalt vertheilt, und beim Auftreten der ersten Chlorophyllkörner ist auch ihre Lösung vollendet. Dieser Vorgang ist schwierig in den einzelnen Stadien zu beobachten. Nur bei wenigen Objecten gelang es mir, ihn genau zu verfolgen. Die Quellung der Globoide nimmt allmählich zu, so dass die höckerige Oberfläche fast verschwindet. Es lässt sich deutlich eine helle Randzone, die Membran, erkennen, welche das eigentliche Globoid umgiebt. Bei sehr starker Vergrösserung erwies es sich, dass eine breite peripherische Schicht dieses Kernes von zahlreichen wurmförmig gewundenen und unregelmässig anastomosirenden Kanälen durchzogen war, während ein dunkler centraler Theil völlig intact war (Taf. II, Fig. 10). Die Corrosion der Randzone nahm nun allmählich zu, bis sie eine völlig schwammige Beschaffenheit angenommen hatte, und dann wurde sie schnell gelöst. Erst nach dem Verschwinden dieser Randzone besass das Globoid, dessen Membran immer noch vorhanden war, jene concentrische Schichtung, welche so vielfach an demselben beobachtet worden ist. — Nach einiger

Zeit wurde nun auch die Membran gelöst, welcher alsbald der dunkle, am längsten widerstandsfähige Kern folgte. Die Lösung der Aleuronkörner in den Cotylen war vollendet, als sie eben die Samenhaut abgestreift hatten und im Begriff waren, der Streckung durch das schon stark entwickelte hypocotyle Glied zu folgen.

Bei einigen Samen, welche sich im vorgeschrittenen Stadium der Keimung befanden und die Aleuronkörner in verschiedenen Phasen der Lösung enthielten, wurde die Keimung dadurch unterbrochen, dass die Samen zuerst bei gewöhnlicher Temperatur, später im Exsiccator getrocknet wurden. Die Aleuronkörner hatten durch diese Manipulation keine Veränderung erfahren. Sie hatten genau das ihren Lösungsstadien entsprechende Aussehen und waren nicht zu den Formen zurückgekehrt, welche sie im ruhenden Samen besessen hatten. Die durch das Trocknen nothwendig erfolgte Einschrumpfung der noch mit der Membran versehenen Aleuronkörner war nicht mit derjenigen des normalen Kornes vergleichbar.

Wieder keimungsfähig waren indessen nur solche Samen, deren Aleuronkörner noch unversehrte Krystalloide aufzuweisen hatten.

3. Foeniculum officinale.

Auch bei den Fenchelmericarpien sind es vorzugsweise die Aleuronkörner des Endosperms, welche ein Studium der einzelnen, bei den Umbelliferen besonders schnell verlaufenden Lösungsstadien gestatten. Sobald die Radicula eine Länge von 1 cm erreicht hat, finden wir im trüben ölreichen Zellinhalt schon viele Globoide und Krystalle ihrer Grundsubstanz und Membran entkleidet (Taf. III, Fig. 15). Die breite Randzone des Endosperms zeigt dies in hervorragendem Maasse, während in den mittleren Partieen die Grundsubstanz noch vorhanden ist, aber bereits eine körnige Structur angenommen hat. Die Membran dieser Aleuronkörner ist vielfach blasig aufgetrieben. Noch ehe jedoch die Globoide irgend welche Veränderung ihrer Masse zeigen, ist die Grundsubstanz gelöst, und auch die Membran, zwar noch einige Zeit als zarte Linie sichtbar, geht alsbald in Lösung über. Die in der Minderzahl vorhandenen globoidführenden Aleuronkörner behalten ihre Hüllmasse länger als die krystallführenden. — Die Globoide zeigten nun eine deutliche Schichtung, einen dunklen

Kern, welcher von einem hellen Ringe umgeben war.. Niemals vollzog sich diese Desorganisation innerhalb einer sogenannten Vacuole. Gegen Reagentien zeigten sie ein anderes Verhalten als im unveränderten Zustande. Von Jodjodkali wurden sie nun gelb gefärbt, und nach einigem Verweilen in verdünnter Kalilauge waren sie stark gequollen. Die Krystalldrusen hatten ihren Proteïnkern und die in ihre Spalten eingelagerte Proteïnmasse eingebüsst. Sie erschienen mit scharf gezacktem Rande und in der Mitte durchlöchert. Eine kleine Zahl war auch schon in kleinere Bruchstücke zerfallen. In diesem Zustande bleiben sie indessen lange erhalten, noch in dem letzten Faserrest des aufgezehrten Endosperms sind kleine Krystalle sichtbar. Die Lösung der Globoide wird nun rasch vollendet, und nach dem Hervorbrechen der Cotylen ist keine Spur der Aleuronkörner mehr vorhanden. Im hypocotylen Gliede und im Würzelchen findet man reichlich transitorische Stärke, niemals aber Aleuronkörner.

4. Sinapis alba.

Sobald das Würzelchen eine Länge von 5 mm erlangt hat, bemerkt man in dem centralen Theil der Keimblätter schon in Lösung begriffene Aleuronkörner. Die Grundsubstanz derselben ist bereits gelöst, die Globoide befinden sich aber noch in unveränderter Lage. Die Aleuronkörner der übrigen Zellpartieen sind stark gequollen, kugelig, und ihre Grundsubstanz wird von Wasser ausserordentlich leicht zerstört, so dass die feinkörnigen Globoide in Strömen über das Object dahinfliessen. — Nach dem Abstreifen der Samenhaut, aber noch vor dem völligen Entfalten der Cotylen, bemerkt man im hypocotylen Gliede reichliche Mengen transitorischer Stärke, in den äussersten Zellreihen der Cotylen dagegen kleine, kranzförmig gelagerte Körnchen, welche die Amylodextrinreaction geben. In dem körnigen Plasma bemerkt man wohl hier und da noch die Höhlungen, welche von den Aleuronkörnern eingenommen wurden, von diesen selbst aber keine Spur mehr. Die Globoide sind vollständig gelöst, ehe noch die Bildung von Chlorophyll stattgefunden hatte.

Fassen wir die Ergebnisse dieser Untersuchungen über die Auflösung der Aleuronkörner verschiedener Typen zusammen, so können wir zunächst als allgemeinen Satz aufstellen, dass die Lösung der Aleuronkörner um so schneller erfolgt, je einfacher das Korn zusammengesetzt ist. Die nur globoidführenden gehen sehr schnell in Lösung über, während die auch gleichzeitig Krystalloide enthaltenden sehr lange widerstandsfähig sind. Die Lösung selbst ist niemals ein rein physikalischer Vorgang, sondern gleichzeitig ein Process der Keimthätigkeit des Samens. Er kann in keiner Weise durch wasserentziehende Mittel rückgängig gemacht werden. In Bezug auf die einzelnen Stadien der Lösung lassen sich keine allgemeinen Gesichtspunkte aufstellen, sie treten bei jedem Samen in anderer Aufeinanderfolge ein.

Die wichtigeren Ergebnisse der in vorstehender Arbeit beschriebenen Untersuchungen lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Zu den Aleuronkörnern gehören nicht nur die, differenzirte Einschlüsse enthaltenden, geformten Proteïnsubstanzen des ruhenden Samens, sondern auch einschlussfreie Körner.

2. Eine Anzahl von Samen führen Aleuronkörner ohne irgend welche Einschlüsse.

3. Die Krystalloide sind in einer gesättigten Lösung von phosphorsaurem Natrium unlöslich.

4. Die Grundsubstanz und Hüllmembran und nach längerem Verweilen auch Globoide und Krystalle sind in einer gesättigten Lösung von phosphorsaurem Natrium löslich.

5. Von allen verdünnten Alkalien eignet sich zur Lösung der Krystalloide, Grundsubstanz und Membran am besten das Kalkwasser.

6. Zur Härtung der Aleuronkörner ist der Maceration in 2 % Sublimatalkohol eine solche in absolutem Alkohol vorzuziehen.

7. Durch Einquellen der ruhenden Samen kann höchstens nur eine Lösung der Grundsubstanz der in den Randpartieen gelegenen Aleuronkörner bewirkt werden; Krystalloide, Globoide und Krystalle werden durch Einquellen niemals gelöst.

8. Die Lösung der Globoide und Krystalloide ist ein Effect der Keimthätigkeit und fällt zusammen mit den Anzeichen der ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings.

9. Die Bildung der Einschlüsse erfolgt nicht in Vacuolen, sondern frei im Zellinhalt, die Lösung dagegen theils innerhalb der Hüllmembran, theils nach erfolgter Lösung derselben.

10. Die in Bildung oder Auflösung begriffenen Krystalloide können durch wasserentziehende Mittel nicht auf ihre normale Gestalt gebracht werden.

Die vorliegende Arbeit wurde im pflanzenphysiologischen Institut der Königlichen Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin während des Sommersemesters 1888 angefertigt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem hochverehrten Leiter meiner Arbeit, Herrn Docenten Dr. A. Tschirch, für die mannigfachen Rathschläge, mit denen er mir fortdauernd zur Seite gestanden, an dieser Stelle meinen wärmsten Dank abzustatten.

Ebenso bin ich Herrn Professor Dr. Frank für die Ueberwachung meiner Studien und die so oft meinen Arbeiten geschenkte Theilnahme zu grossem Danke verpflichtet. In gleicher Weise erkenne ich die liebenswürdige Ueberlassung von Untersuchungsmaterial seitens des Herrn Professors Wittmack und der Verwaltung des Königlichen Botanischen Gartens dankbar an.

Figuren-Erklärung.

Tafel II.

Fig. 1—10 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Linum usitatissimum.

Fig. 1. Ein Aleuronkorn in Wasser betrachtet. a Membran, b Krystalloid, welches durch eine Längsspalte in zwei symmetrische Hälften getheilt ist, c Globoid, d Grundsubstanz.

Fig. 2, a—h zeigt die Einwirkung des Kalkwassers auf ein Aleuronkorn. Es wird zunächst die Grundsubstanz und später die Membran des Kornes gelöst (b). Erst dann beginnt die Einwirkung auf das Krystalloid. Im ersten Stadium quillt es etwas auf und büsst dadurch seine krystallinische Gestalt ein (b u. c), um die einer Kugel anzunehmen. Alsbald bilden sich Vacuolen (d u. e), die nach und

nach zu einer grösseren zusammenfliessen (f u. g). Die Membran ist nun nicht mehr im Stande, dem starken Turgor zu widerstehen, sie zerreisst, und die Lösung des Krystalloids vertheilt sich im Zellinhalt, während die Membran zu einem faltigen Häutchen zusammenfällt (h), welches dann auch später gelöst wird.

Fig. 3, a—e zeigt ein Aleuronkorn, dessen Krystalloid durch den Keimungsprocess eine gewisse Umwandlung erfahren hat. Dasselbe ist nun in Wasser von innen nach aussen bis auf einen breiten, mit Querrissen versehenen Ring, welcher allmählich zerfällt, löslich.

Fig. 4, a—e. Lösungsvorgang des Krystalloids während der Keimung des Samens. Die Hüllmembran ist straff gespannt, so dass die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz sichtbar wird (b u. c). Das Krystalloid geht allmählich innerhalb der Membran unter Bildung concentrischer Schichten (c) in Lösung über. (Siehe weiter Fig. 8 u. 9.)

Fig. 5. Entwickelung der Krystalloide im reifenden Samen. Sie bilden zuerst fast viereckige Ringe, welche oft an einer Stelle offen sind.

Fig. 6. Zelle des reifenden Samens mit drei fast vollständig ausgebildeten Aleuronkörnern.

Fig. 7. Vollständig ausgebildete Aleuronkörner in Oel liegend.

Fig. 8. Lösungsvorgang der Krystalloide während der Keimung des Samens. Die Krystalloide sind bereits innerhalb der Membran gelöst, die Globoide dagegen noch vorhanden.

Fig. 9. Im letzten Lösungsstadium befindliche Aleuronkörner mit Natriumphosphat behandelt. Der ganze Inhalt des Kornes ist bis auf die Globoide gelöst, Krystalloide waren also nicht mehr vorhanden.

Fig. 10. Lösungsstadien der Globoide. Es wird zuerst die breite, schon corrodirte Randzone gelöst, und dann entstehen in dem zurückbleibenden Kern vor Vollendung der Lösung concentrische Schichten.

Fig. 11—20 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Ricinus communis.

Fig. 11. Erstes Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Lösung beginnt damit, dass die Grundsubstanz die ihr dargebotene Feuchtigkeit begierig aufnimmt, wodurch sie aufquillt und die sie umgebende, vorher schlaff und faltig anliegende Membran spannt, so dass jedes Korn jetzt eine annähernde Kugelgestalt mit fast glatter Oberfläche erlangt hat.

Fig. 12, a u. b. Weiteres Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Krystalloide beginnen innerhalb der Membran von aussen nach innen abzuschmelzen. Auch die Globoide werden allmählich verändert. Der sonst scharf umschriebene Rand wird schwach zackig, und die vorher homogene Masse hat eine körnige Beschaffenheit angenommen. (Siehe weiter Fig. 17 u. 14.)

Fig. 13, a—d. Aleuronkörner des ruhenden Samens unter Oel betrachtet. Es sind nur die Globoide sichtbar.

Fig. 14. Letztes Lösungsstadium der Krystalloide im keimenden Samen. Es sind deutliche concentrische Schichten vorhanden.

Fig. 15. Bildung der Aleuronkörner im reifenden Samen. Globoide und Krystalloide frei im Zellinhalt liegend.

Fig. 16. Weiteres Stadium der Bildung der Aleuronkörner. Globoide und Krystalloide haben bereits ihre vollständige Ausbildung erlangt, sind aber noch nicht von der Grundsubstanz umgeben.

Fig. 17. Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Globoide sind schon gelöst, die Krystalloide gespalten oder durchlöchert frei im Zellinhalt liegend.

Fig. 18, a—c. Einwirkung des Wassers bei einer Temperatur von 60° C auf die Aleuronkörner. Mit dem Steigen der Temperatur schreitet die Undurchsichtigkeit der Krystalloide von der Mitte anfangend bis zum Rande vor, das Krystalloid quillt auf und erfüllt das ganze ebenfalls gequollene Aleuronkorn als schwammige Masse (c).

Fig. 19. Einwirkung von heissem Glycerin auf die Aleuronkörner. Krystalloide und Globoide werden ausserordentlich schnell von aussen nach innen gelöst, das Korn nimmt Kugelgestalt an.

Fig. 20, a—e. Aleuronkörner des reifen Samens unter Oel betrachtet. Die Oberfläche ist noch gespannt, da die Grundsubstanz ihre normale Feuchtigkeit besitzt.

Fig. 21. Aleuronkörner von Ficus Carica unter Wasser betrachtet. Viele kleine Globoide sind kranzförmig um das Krystalloid gelagert.

Tafel III.

Fig. 1. Eine Zelle aus der sogenannten Kleberschicht von Triticum vulgare nach der Maceration in absolutem Alkohol in Wasser betrachtet. Die einzelnen Körnchen sind in ein zierliches Plasmanetz eingebettet, dessen Maschengewebe scharf hervortritt.

Fig. 2. Einwirkung von Natriumphosphat auf die in Alkohol macerirten Aleuronkörner einer Kleberzelle von Triticum vulgare. Die Körnchen sind vollständig gelöst, das zierliche Plasmanetz ist allein zurückgeblieben.

Fig. 3. Einwirkung von Wasser auf die in Alkohol macerirten Aleuronkörner einer Kleberzelle von Triticum vulgare. Es entstehen nur concentrische Schichten, niemals tritt vollständige Lösung ein.

Fig. 4. Inhaltsbestandtheile einer Endospermzelle von Carex livida. — s Stärke, a, b krystalloidartige Körper.

Fig. 5. Zelle aus dem Embryo von Carex livida mit Aleuronkörnern, jedes ein grosses Globoid enthaltend.

Fig. 6. Zellen aus dem Scutellum von Secale cereale mit Aleuronkörnern. In jedem Korn sind zahlreiche punktförmige Globoide enthalten.

Fig. 7. Aleuronkörner von Thuja officinalis. a in Wasser, b in Kalilauge liegend. Letztere löst die Krystalloide, so dass jetzt nur die Globoide vorhanden sind.

Fig. 8, a, c, f. Aleuronkörner aus dem Endosperm von Oenanthe Phellandrium. b frei liegende Krystalldruse mit Proteïnkern, d und e frei liegende Krystalloide.

Fig. 9. Zelle aus dem Scutellum von Zea Mais, a—f Stärkekörner, die übrigen Aleuronkörner und zwar mit sehr zahlreichen kleinen Globoiden.

Fig. 10. Zelle aus dem Scutellum von Triticum vulgare. Die Aleuronkörner enthalten sehr zahlreiche, punktförmige Globoide.

Fig. 11. Zelle aus dem Endosperm von Carum Carvi, die Localisirung der globoidführenden und krystallführenden Aleuronkörner zeigend.

Fig. 12. Aleuronkörner von Nigella damascena. Globoide zahlreich, scharf hervortretend.

Fig. 13. Zelle aus dem Keimblatt von Mucuna urens; a Aleuronkörner im Plasmanetz, b Stärkekörner.

Fig. 14. Zellen aus dem Endosperm von Daucus Carota, b u. c mit Aleuronkörnern, a mit Krystalldrusen.

Fig. 15. Zellen aus der Randpartie des Endosperms von Foeniculum officinale während der Keimung. Die Grundsubstanz der krystallführenden Aleuronkörner ist bereits gelöst.

Fig. 16. Zellen aus der sogenannten Kleberschicht von Trigonella foenumgraecum. a nach der Maceration in absolutem Alkohol in Natriumphosphat, b in Wasser und c nicht macerirt in Wasser betrachtet. Die erste Zelle zeigt das Plasmanetz, die zweite die polyëdrischen Aleuronkörner und die dritte den Zellinhalt mit Oeltröpfchen durchsetzt.

Fig. 17. Zellen aus dem Keimblatt von Trigonella foenumgraecum. a in Wasser, b in Natriumphosphat betrachtet.

Fig. 18. Zellen aus dem Keimblatt von Sinapis alba mit Aleuronkörnern, welche viele kleine Globoide enthalten.

Fig. 19. Zelle aus dem Endosperm von Crocus Asturicus mit Aleuronkörnern.

Fig. 20. Zelle aus dem Endosperm von Tilia parvifolia mit Aleuronkörnern.

Tafel IV.

Fig. 1. a Zellen aus dem Endosperm von Elettaria Cardamomum mit Aleuronkörnern, b zwei Zellen des Perisperms mit vielen kleinen Stärkekörnchen und je einem Kalkoxalatkrystall.

Fig. 2. Aleuronkörner von Hyoscyamus niger nach der Alkoholmaceration in Wasser liegend.

Fig. 3. Aleuronkörner von Hyoscyamus niger, nicht macerirt, in Oel betrachtet.

Fig. 4. Zelle aus dem Keimblatt von Lupinus polyphyllus mit Aleuronkörnern.

Fig. 5. Zelle aus dem Keimblatt von Arachis hypogaea. a Aleuronkörner, b Stärkekörner.

Fig. 6—9 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Tiglium officinale.

Fig. 6. Zwei Aleuronkörner nach der Alkoholmaceration unter Wasser betrachtet. Sie enthalten mehrere Globoide und mehrere Krystalloide.

Fig. 7. Einzelne Krystalldruse, welche 24 Stunden in Natriumphosphat gelegen hat. Der Proteïnkern ist vollständig herausgelöst.

Fig. 8. Zelle aus dem Endosperm nach der Behandlung mit verdünnter Kalilauge. Es sind nur die kugeligen Globoide vorhanden.

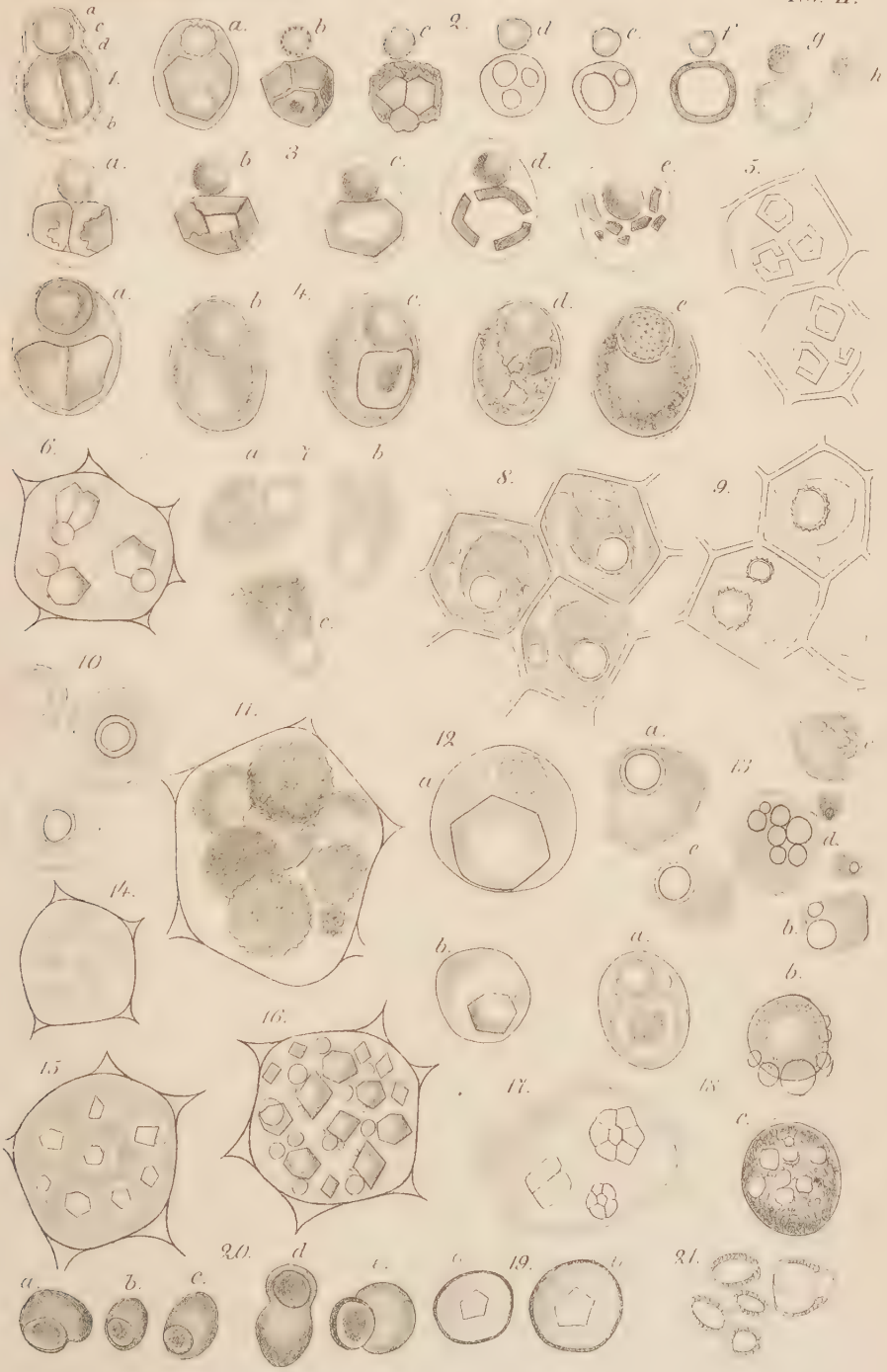
Fig. 9. Zellen aus dem Endosperm mit Aleuronkörnern unter Oel betrachtet. In der Centralzelle eine Krystalldruse.

Fig. 10. Globoidsolitär von Vitis vinifera nach der Einwirkung von Natriumphosphat. Die Lösung schreitet, nachdem diejenige der Grundsubstanz

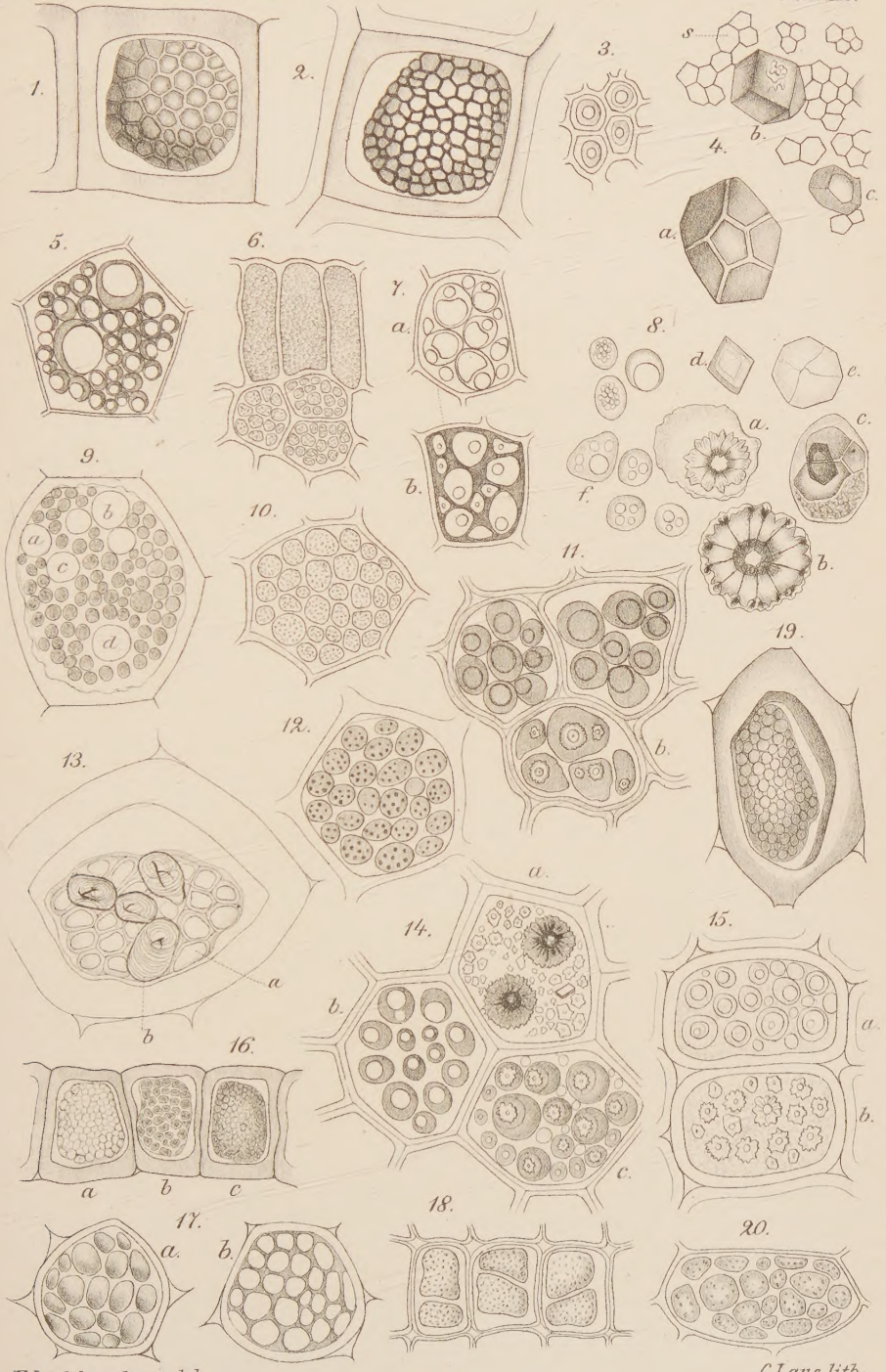
erfolgt ist, allmählich von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten vor. Die Randschicht tritt scharf hervor und documentirt sich durch ihre Widerstandsfähigkeit unzweifelhaft als zartes Hüllhäutchen, mit welchem das Globoid umgeben war.

Fig. 11. Aleuronkörner von Centaurea maculosa, theils Globoide, theils Krystalle enthaltend.

Fig. 12. Reproduction einer photographischen Aufnahme der Versuche A und B nach viertägigem Wachsthum der ausgesäten Samen. (Vergl. p. 47.)

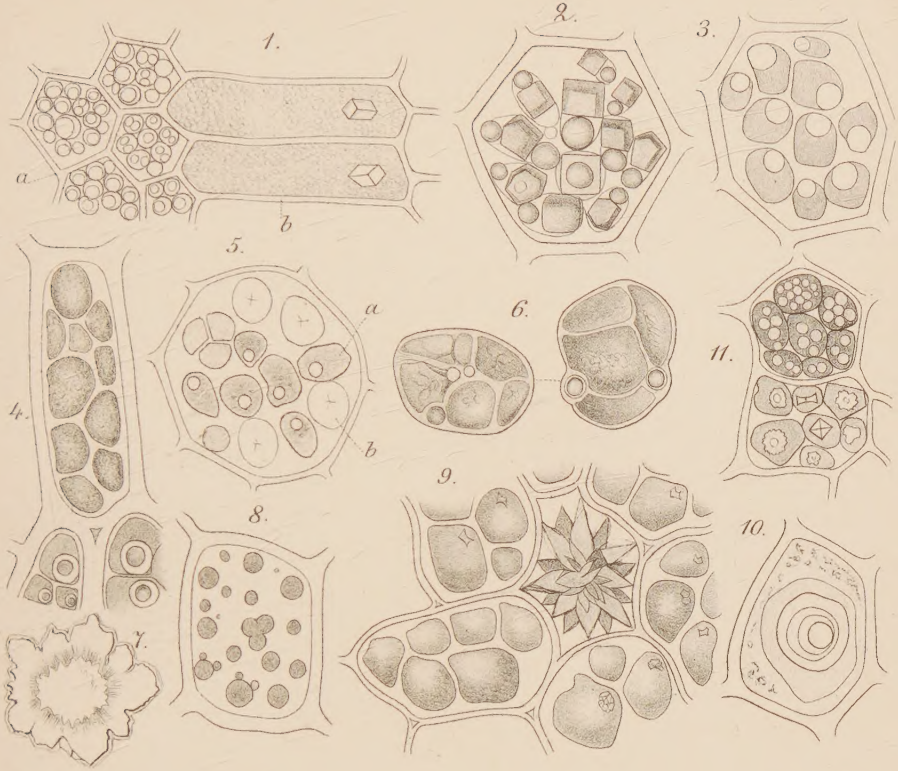


F. Lüdtke ad nat. del. C. Lang lith.



F. Lüdtke ad nat. del.

C. Laue lith.


1.
a
b
2.
3.
5.
a
b
6.
11.
4.
9.
8.
10.
γ
γ

A.
12.
B.